

**耕作放棄地における微細藻培養技術の確立と
事業化方策の検討に係る事業化可能性調査報告
～藻から石油とオメガ 3～**

平成 23 年 4 月

微細藻培養技術事業化可能性調査共同事業体

(スメーブジャパン株式会社)

(株式会社循環社会研究所)

(ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社)

目 次

はじめに	1
第 1 章 閉鎖型海水循環利用培養システムの検討	3
1. 培養藻類の選定（微細藻類の選定理由）	3
1. 1 海産微細藻類の選定理由	3
1. 2 ナンノクロロプシスの培養実験	5
2. 海水循環利用システムの検討	11
2. 1 培養システム概要	11
2. 2 閉鎖型循環培養システムの課題	14
第 2 章 オメガ 3 抽出技術の検討	18
1. 微細藻からの油分抽出技術の検討	18
2. オメガ 3 抽出技術の検討	22
3. EPA 濃縮・分離技術の検討	23
4. 超臨界二酸化炭素抽出法による EPA 濃縮品のコスト試算	25
第 3 章 商品化開発・市場調査	27
1. 商品化開発及び市場調査のアプローチ	27
1. 1 ナンノクロロプシスの商品化開発の方向性の概観	27
1. 2 調査方針	29
2. 魚介類餌料への利用検討	30
2. 1 市場調査及び商品開発の可能性	30
2. 2 ヒアリング	31
3. オメガ 3 の商品化検討	33
3. 1 市場動向	33
3. 2 ヒアリング	42
4. 家畜飼料への利用検討	45
5. バイオ燃料への利用検討	47
6. まとめと今後の商品化戦略について	54
第 4 章 事業化可能性調査	55
1. 海藻事業ニーズの把握	55
2. 耕作放棄地対象エリアの選定	57
3. 事業計画の立案	60

4. 事業収支の検討	61
5. 事業主体の検討	63
6. 事業化計画の作成	64
6. 1 事業化する上での制約条件の整理	64
第5章 事業参画者を拡大するためのシンポジウムの開催	65
1. 目的と経過	65
2. シンポジウム日程	65
3. シンポジウム風景	66
4. 講演内容・資料	68
5. その他資料	122
おわりに	123

はじめに

再生可能エネルギーの本命として藻類に対する期待が高まっている。藻類は光合成による原始酸素の発生、無機物から有機物への変成、石油や鉄鉱石資源の創生、など現在の地球環境の形成に大きく関与したことが認識されており、この藻類を活用して地球環境の再生を図ろうという試みが世界中で進んでいる。早ければ 2015 年には藻類からバイオ燃料生産の商業化が開始されるとの米国専門誌の観測もあり、困難な課題への果敢な挑戦が欧米を中心に展開されている。

このような状況で日本では以下のような問題点がある。

- バイオ燃料生産に適した藻類の屋外での大量培養技術が確立されていない。特にコンタミネーション対策と光合成の最適化手法の研究が遅れている。
- 藻類バイオマスからの糖質および油分抽出・分離・精製手法の確立と最終生産物の商品化と市場開拓も課題である。
- 培養に必要な広大な用地の手当てをどうするか？
- バイオ燃料への変換技術と商業規模でのコスト削減策など。

スメーブジャパン社は屋外大量培養のノウハウを世界最先端の技術を有するシームバイオテック社からライセンス・インする。シームバイオテック社は日本の藻類学界と 30 年近くにもわたる交流を保っているアミ・ベンアモツ博士が創設した会社で、スメーブジャパン社はベンアモツ博士の培養・光合成ノウハウに、日本独自の伝統的な培養手法を加味してオリジナルの培養技術の確立を目指している。

油分抽出・分離・精製については物理的破碎、酵素利用、電磁波・超音波の利用など今後さらに実験を行い、効率的で安価な手法を確立していく。幸いにも、スメーブジャパン社が培養対象とする微細藻ナンノクロロプシスには、厚生労働省が摂取を奨励するオメガ 3 不飽和脂肪酸（EPA）が大量に含まれているので、これを利用してまずは高機能サプリメントや血栓症治療薬の開発・製造を目指していく。

培養に必要な土地の手当てが従来は最大の課題であったが、内陸の耕作放棄地や耕作不適地を活用する事により解決できる糸口が出てきた。また太陽光発電パネルとの重層建設でスペースの有効活用なども可能性として考えられ、今後の研究テーマに加えたい。

ナンノクロロプシスからのバイオディーゼル生産についてはシームバイオテック社が欧米の研究所・企業との提携で試作には成功している。スメーブジャパン社としては先ずナンノクロロプシスを国内で大量生産し、日本企業の先進技術を活用して国産バイオ燃料の生産を目指したい。

石油とのコスト競争力を高めるため、シームバイオテック社は火力発電所から排出されるCO₂とボイラー冷却用の海水を利用している。中国蓬萊に建設中の大型プラント（10ヘクタール）は2011年7月稼働予定であるが、コスト的には34セント/乾物kgを目指している。

スメーブジャパン社は、ナンノクロロプシスが8-18℃の低温域の海水で油分の蓄積が一段と進むとの知見から、石巻市牡鹿半島地区での事業化を検討している。この地区は冬でも晴天の日が多く、光合成に十分な日照が期待できる。

本報告書は上記を踏まえ、耕作放棄地における藻類培養技術の確立と事業化に関する可能性調査結果と、更なる研究課題をとりまとめたものである。

第1章 閉鎖型海水循環利用培養システムの検討

1. 培養藻類の選定（微細藻類の選定理由）

微細藻類は、陸上高等植物（トウモロコシ、アブラヤシなど）と比較して約 10 倍から 800 倍と非常に高い油分量である¹（表 1-1）。また、陸上高等植物は広大な敷地面積を必要とし、成長に時間がかかり、さらに人間や家畜の食料との競合が生じる。一方で微細藻類は、耕作放棄地など狭い敷地において開放型小規模池（オープンポンド）や閉鎖型水槽（様々なバイオリクターなど）を設置することで生産可能である。また微細藻類は一般に成長が早く、数時間から数日で分裂増殖する。そのため、単位時間当たりの生産性が高い。さらに、海水や淡水を用い比較的簡単に生産できる利点がある。

表 1-1 陸上高等植物および微細藻類の油分収量の比較¹

品目	油分収量 (L/ha/year)
トウモロコシ	172
ダイズ	446
ナタネ	1,190
ナンヨウアブラギリ	1,892
ココナツ	2,689
アブラヤシ	5,950
低油分微細藻類	58,700
項油分微細藻類	136,900

1. 1 海産微細藻類の選定理由

微細藻類は淡水中にも海水中にも存在する。淡水産種にも油分を豊富に生産する種が知られており¹（表 1-2）、その生産には多くの淡水を必要とする。しかし、淡水は無限に存在するわけではなく、日照りや干ばつなどにより利用が制限される可能性が十分ある。また、飲料水として人間や家畜と競合する可能性がある。一方で、海産種は平均すると淡水種よりも多くの油分を生産する。また海水を利用するため、飲料水と競合することはない。さらに、海水は無尽蔵に存在するため、日照りや干ばつとは、関係がない。そのため、海産種は淡水産種よりも人間や家畜などとの競合が少ない。

¹ Y. Chisti: Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advances*, 25, 294–306 (2007).

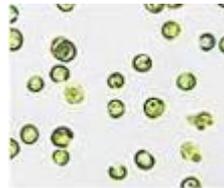
表 1-2 様々な微細藻類の油分含有量¹.

微細藻類	油分含有量 (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i> *	25 - 75
<i>Chlorella</i> sp.*	28 - 32
<i>Cylindrotheca</i> sp.*	16 - 37
<i>Dunaliella primolecta</i> *	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25 - 33
<i>Nannochloris</i> sp.	20 - 35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31 - 68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35 - 54
<i>Nitzschia</i> sp.	45 - 47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20 - 30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50 - 77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15 - 23

*淡水産微細藻類。その他は海水産。

(1) 海産微細藻類の選定

海産微細藻類中で油分量が多い藻類は表 1-2 に示す通りであり¹、高度不飽和脂肪酸のひとつであるエイコサペンタエン酸 (EPA) が豊富な藻類は、真正眼点藻ナンノクロロプシス、珪藻フェオダクチラム、ハプト藻パブロバである²(表 1-3)。このうち、油分と EPA の両方を豊富に含む藻類は、ナンノクロロプシスとフェオダクチラムである。



Phaeodactylum tricornutum *Nannochloropsis* sp.

図 1-1 海産微細藻類の写真

表 1-3 EPA を含む微細藻類².

微細藻類	EPA 含有量 (mg/g)
<i>Pavlova</i> sp.	18.0
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	28.4
<i>Nannochloropsis oceanic</i>	23.4

² V. Patil *et al.*: Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed, *Aquaculture International*, 15, 1-9 (2007).

(2) ナンノクロロプシスの選定理由

ナンノクロロプシス並びにフェオダクチラムは、EPA、油分ともに比較的豊富に含んでいる^{1,2}。しかし、ナンノクロロプシスの増殖には、フェオダクチラムに必須な栄養分であるケイ素を必要としない上、ビタミン類もほとんど必要としない³。フェオダクチラムはビタミン類を摂取することで EPA 含有量を増加することが示唆されている⁴。ビタミン類は非常に高価で、コスト面を考えると珪藻フェオダクチラムよりもナンノクロロプシスの方が低コストであるといえる。

1. 2 ナンノクロロプシスの培養実験

(1) ナンノクロロプシスのイスラエル産株を用いた温度帯別の成長特性

1) 目的

先行研究では、14–34℃までの温度帯でのみの様々な研究はなされているが^{5,6,7}、それ以下の温度帯での培養実験の研究例はなく、14℃以下の低温においてナンノクロロプシスが増殖可能かは不明であった。そこで、各温度帯におけるナンノクロロプシスのイスラエル産株の増殖特性を調べ、14℃以下の温度帯においても培養可能かどうかを確かめる。

2) 材料、方法

宮城県佐須浜沿岸海水を 0.2 μm フィルターで濾過した濾過滅菌海水 (32.5%) に栄養塩類 (硝酸塩: NaNO₃ (882 μM/L)、リン酸塩: NaH₂PO₄ · 2H₂O (38 μM/L)、鉄分、ビタミン類) を添加することにより f/2-Si 培地を作製し、実験に用いた。50ml 容器に f/2-Si 培地を入れ、インキュベーターを用いイスラエル産株を定常期に至るまで 5–25℃で培養した。

細胞の増殖速度は、2–3 日 (5℃は、3 日–2 週間) おきに細胞数を計数することで求めた。

また、細胞体積の測定には蛍光顕微鏡を用いた。定常期において 1ml のサンプルを採取し、蛍光染色剤 DAPI およびプロフラビンで 10 分間染色した。その後、染色サンプルをフィル

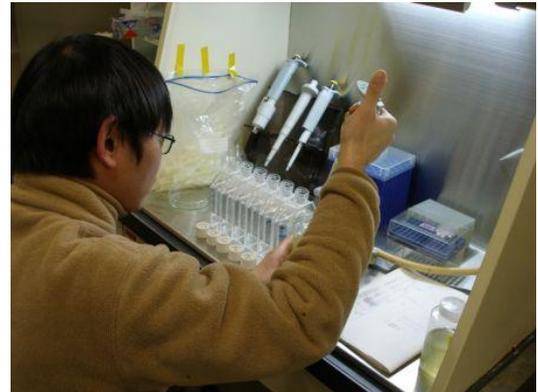


図 1-2 培養実験風景 (石巻専修大学)

³ 岡内正典・山田敏之・尾崎照遵: ナンノクロロプシス *Nannochloropsis oculata* の大規模培養および小規模培養に適した培地の作製, 水産増殖, 56: 147-155 (2008).

⁴ W. Yongmanitchai: Growth of and Omega-3 Fatty Acid Production by *Phaeodactylum tricornutum* under Different Culture Conditions, P. Ward, Applied and Environmental Microbiology, 57: 419-425 (1991).

⁵ M. Hoffmann *et al.*: Influenced by Temperature and Nitrate Stimuli in Turbidostatic Controlled Experiments, Marine Drugs, 8, 2526-2545 (2010).

⁶ H. Hu and K. Gao: Response of growth and fatty acid compositions of *Nannochloropsis* sp. To environmental factors under elevated CO₂ concentration, Biotechnology Letters, 28, 987-992 (2006).

⁷ J.M. Sandnes *et al.*: Combined influence of light and temperature on growth rates of *Nannochloropsis oceanica*: linking cellular responses to large-scale biomass production, Journal of Applied Phycology, 17, 515-525 (2005).

ター上に濾過し、プレパラートを作製し、蛍光顕微鏡下で細胞の写真を撮影し、フォトショップ 7.0 を用い細胞サイズを測定した。その細胞サイズから細胞体積を計算した。

3) 結果

イスラエル産株の細胞密度（微細藻の個体数密度）は 10–25℃において 18 日で定常期に達し、5℃は 94 日目で定常期に達した（図 1-3）。細胞収量は、5℃で 3.9×10^7 、10℃で 3.0×10^7 、15℃で 5.2×10^7 、20℃で 6.6×10^7 、25℃で 5.5×10^7 cells/ml であった（表 1-4, 図 1-4）。培養開始時からの増殖速度総平均は、5℃で 0.07、10℃で 0.35、15℃で 0.36、20℃で 0.38、25℃で 0.43/day で、対数増殖期の平均増殖速度は、5℃で 0.20、10℃で 0.49、15℃で 0.78、20℃で 0.93、25℃で 1.24/day であった（表 1-4）。

イスラエル産株の各温度帯における定常期の細胞容積は、5℃で 64.5、10℃で 27.1、15℃で 21.0、20℃で 19.5、25℃で $14.8 \mu\text{m}^3$ であり、細胞容積は低温帯（5–10℃）において約 3.0–4.4 倍増加した（表 1-5）。

室内培養系における各温度帯での総容積収量と細胞収量は、高温帯（15–25℃）で細胞収量が約 1.3–2.2 倍に増加し、総容積収量は低温帯で約 1.5–3.0 倍に収量が増加した（図 1-4）。

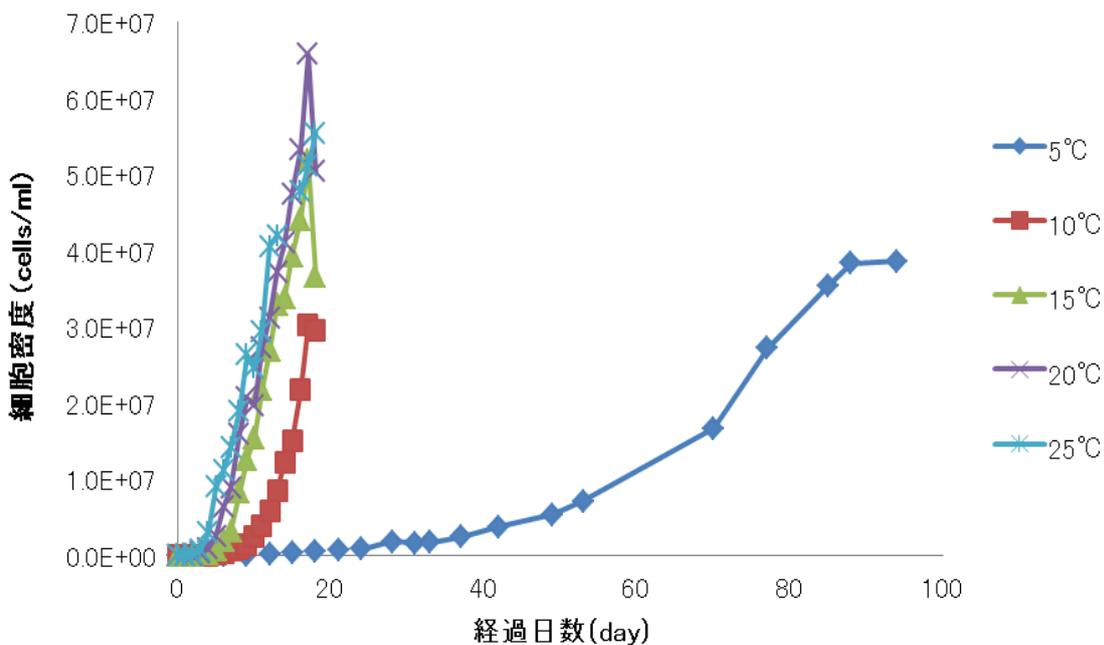


図 1-3 室内培養系における各温度帯での細胞密度の経日変化.

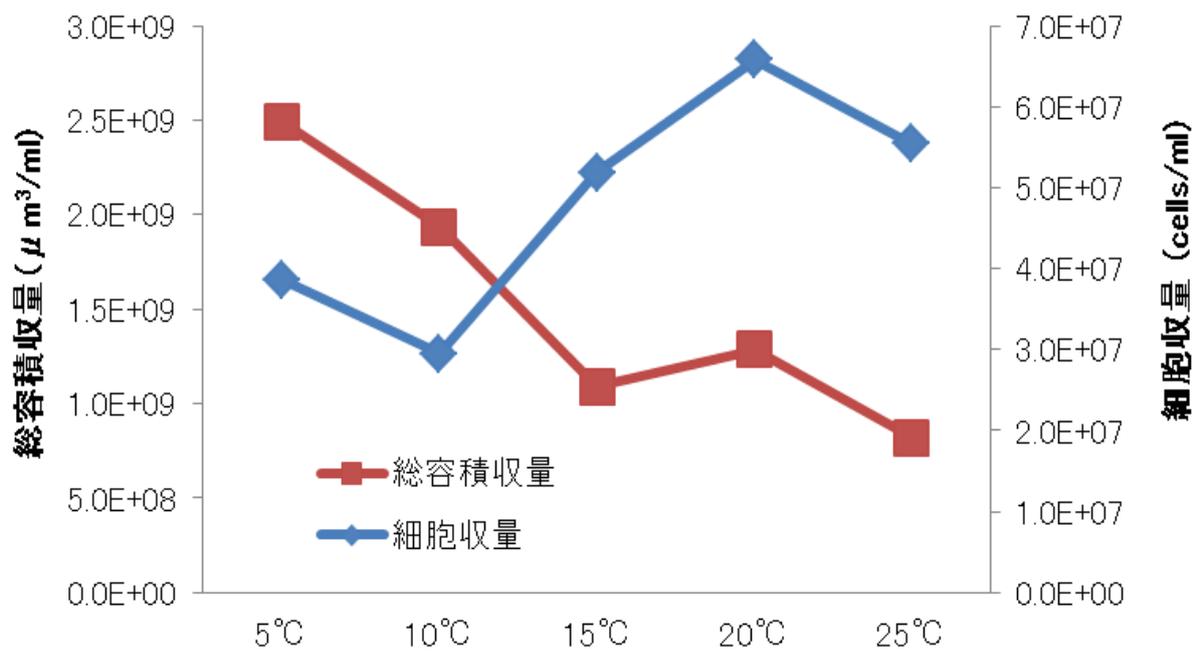


図 1-4 室内培養系における各温度帯での総容積収量と細胞収量の比較.

表 1-4 室内培養系における各温度帯での細胞収量と増殖速度の比較.

水温 (°C)	照度* (μ mol/m ² /s)	細胞収量* ($\times 10^7$ cells/ml)	増殖速度* (cells/day)
5		3.9 \pm 0.31	総平均 0.07 \pm 0.20 対数期平均 0.20 \pm 0.19
10		3.0 \pm 0.32	総平均 0.35 \pm 0.29 対数期平均 0.49 \pm 0.30
15	135.3 \pm 8.6	5.2 \pm 0.84	総平均 0.36 \pm 0.47 対数期平均 0.78 \pm 0.24
20		6.6 \pm 0.63	総平均 0.38 \pm 0.49 対数期平均 0.93 \pm 0.47
25		5.5 \pm 0.39	総平均 0.43 \pm 0.49 対数期平均 1.24 \pm 0.13

* 平均値 \pm 標準偏差

表 1-5 室内培養系における各温度帯での細胞容積の比較.

水温 (°C)	細胞容積* (μ m ³ /cell)	
	実験開始時	定常期
5		64.5 \pm 20.7
10		64.0 \pm 33.5
15	9.3 \pm 4.7	21.0 \pm 22.3
20		19.5 \pm 9.1
25		14.8 \pm 9.4

* 平均値 \pm 標準偏差

4) 考察

ナンノクロプシスは、高温帯になるにつれて細胞収量と増殖速度が増加し、また低温帯の 5°C においても負の成長を示さずに増殖したことから、低温帯から高温帯までに幅広く分布できる広温性種としての性質を示した。

また、細胞容積は細胞収量と異なり高温帯になるにつれて減少する傾向があり、低温帯の

5℃–10℃では、高温帯と比較して約 3.0–4.4 倍容積が増加していた。これは、低温化により油分や葉緑素などの含有量が増加したものと思われる。

細胞収量と総容積収量では、細胞収量は高温帯、総容積収量では低温帯において増加する傾向がみられた。これは、高温帯よりも低温帯の方がより重量が大きくなることを示している。

(2) ナンノクロロプシスの駿河湾産株を用いた屋外中規模培養実験

1) 目的

ナンノクロロプシスは、低温において油分や EPA を貯め込む事が知られている^{6,8}。そこで気温が下がる秋季から冬季にかけて培養を行い、その時期にナンノクロロプシスが培養可能か確かめるために、石巻の環境下においてナンノクロロプシス駿河湾産株の増殖特性を確認した。

2) 材料、方法

宮城県佐須浜沿岸海水を 0.2 μm フィルターで濾過した濾過滅菌海水 (32.5%) に栄養塩類 (硝酸塩: NaNO₃ (882 μM/L)、リン酸塩: NaH₂PO₄ · 2H₂O (38 μM/L)、鉄分、ビタミン類) を添加することにより f/2-Si 培地を作製し、実験に用いた。50 L 容器に f/2-Si 培地を 40L 入れ、ナンノクロロプシスを 2L 接種した (接種時の密度は、1.8×10⁵cells/ml)。それを、攪拌器を用い 165–205 rpm で攪拌し、藻類の沈殿を防ぎまんべんなく光が供給されるようにした。

2–3 日おきに pH、水温、気温を観測し、細胞密度、蛍光値、細胞容積測定用サンプルを採取した。

その後、実験室内で細胞密度を測定した。細胞容積の測定には蛍光顕微鏡を用いた。1ml の試料懸濁液を採取し、蛍光染色剤 DAPI およびプロフラビンで 10 分間かけて染色した。その後、染色サンプルをフィルター上に濾過し、プレパラートを作製し、蛍光顕微鏡下で細胞の写真を撮影し、フォトショップ 7.0 を用い細胞サイズを測定した。その細胞サイズから細胞体積を計算した。

3) 結果

実験期間中の培養環境データは、水温 2.9–15.1℃、気温 2.1–17.0℃、pH7.8–10.3 であった。

ナンノクロロプシスの細胞密度は、培養開始後 63 日で 3.5×10⁷cells/ml であった (図 1-5)。培養開始後 63 日目までの増殖速度の総平均は、0.09±0.18/day で、対数増殖期の平均増殖速度は、0.23±0.08/day であった。

細胞容積は培養開始時 (7.4±2.5 μm³) から 6 日目までは増加した (16.5±6.5 μm³) が、その後 30 日目までほぼ一定に維持された (15.6±1.3 μm³, 図 1-6)。しかし 30 日目以降の細胞容積は、44 日目まで再び増加し (31.0±13.9 μm³)、その後ほぼ一定に維持された (30.6±3.3 μm³, 図 1-5)。

⁸ Ami Ben-Amotz, Chief Scientific Advisor, Seabiotic

4) 考察

ナンノクロロプシスは、水温 2.9-15.1℃、pH7.8-10.3 で増殖を示した。これは、ナンノクロロプシスが石巻の環境や pH がアルカリ性を示す水域においても培養可能であることを示している。

今後は、培養規模を拡大して油分や EPA 含量についても検証していく必要がある。

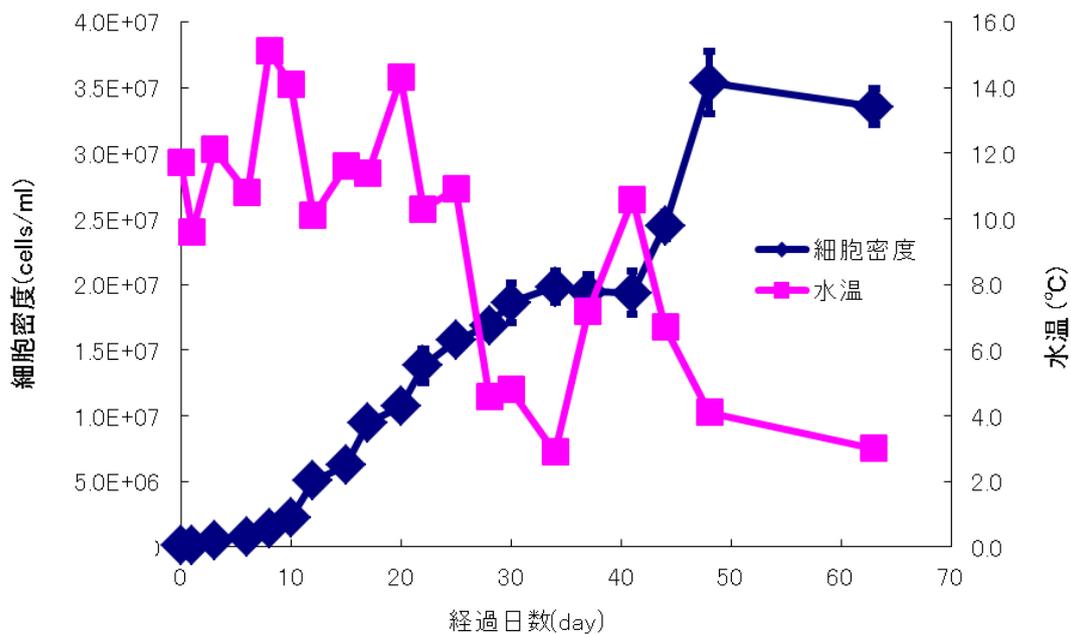


図 1-5 屋外培養系における細胞密度と水温の経日変化.

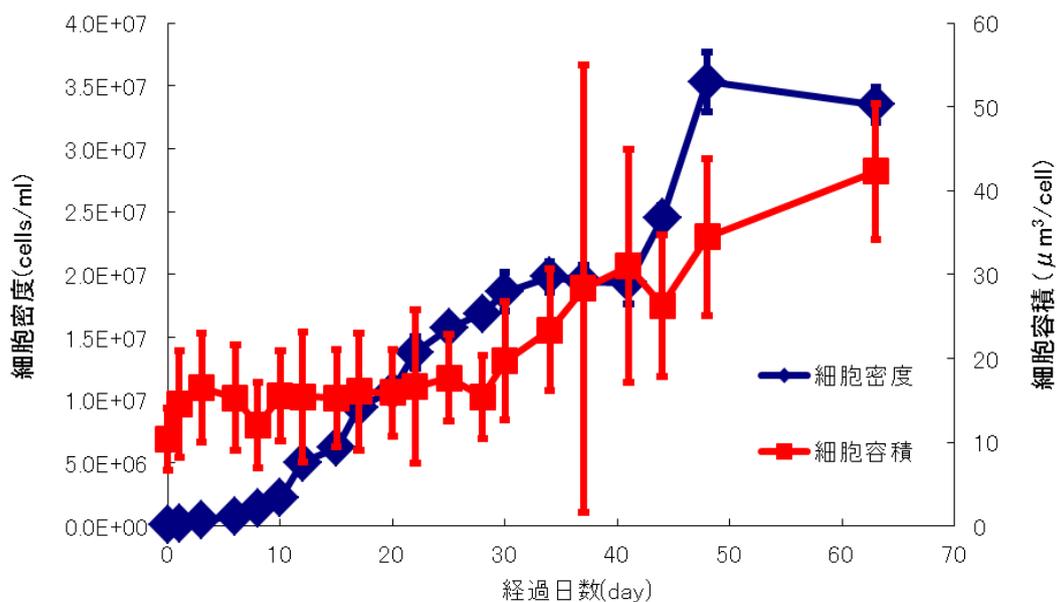


図 1-6 屋外培養系における細胞密度と細胞容積の経日変化.

2. 海水循環利用システムの検討

2. 1 培養システム概要

我々が提案する微細藻の培養システムは、世界最先端の微細藻の培養技術を持つイスラエルのシームビオテック社のノウハウを活用した培養システムである。シームビオテック社は火力発電施設から排出されるガスを藻の二酸化炭素供給源として利用し、高密度培養を実現している。CO₂活用技術の他にも、NASA と共同で開発した効率的な攪拌技術による藻の光吸収効率の極大化や、養殖池の環境を清浄に維持するためのシステムの導入など、独特な技術を取り込むことで、世界を牽引する屋外大量培養を実現している。我々の課題は、①イスラエルで実現しているこの培養技術をいかにして日本の環境へ導入するか、②耕作放棄地の事業展開を可能とするために、閉鎖型循環培養システムを確立することにある。

(1) 屋外大量培養システム

1) 大量培養のための技術

商業規模の微細藻の培養法は大きく 2 つの方式に分けられる。

1 つは屋内で環境を制御して行う培養（バイオリクター方式）で、安定した品質と生産性を確保できる半面、設備などの費用が嵩む。

もう一つは屋外で自然光を利用して培養をする方法（オープンポンド方式）で、安価な大量培養が可能である半面、外的環境からの影響が大きく、安定した培養には高度な技術を必要とする。

我々が目指すところは微細藻の大量培養であり、屋外培養システムについてその概要を説明する。

微細藻の種付けから収穫までのフローを図 1-7 に示す。まず、海水を満たした養殖池に種藻を加える。海水には、微細藻が増殖するのに必要な栄養分がもともと含まれているので、これにより安価に藻の培養を行うことができる。養殖池での高密度培養を実現するために、効率的な光合成活動の促進を促す技術が導入される。その内のひとつが、水槽内の全ての藻に均等に太陽光を供給するための攪拌技術であり、もうひとつは光合成活性を促進するための CO₂ 供給技術である。これらの技術を活用して屋外養殖池にて高密度の培養を促し、一部を収穫し、収穫の際に減った分の海水を補充する。これが循環型の屋外培養法の概要である。

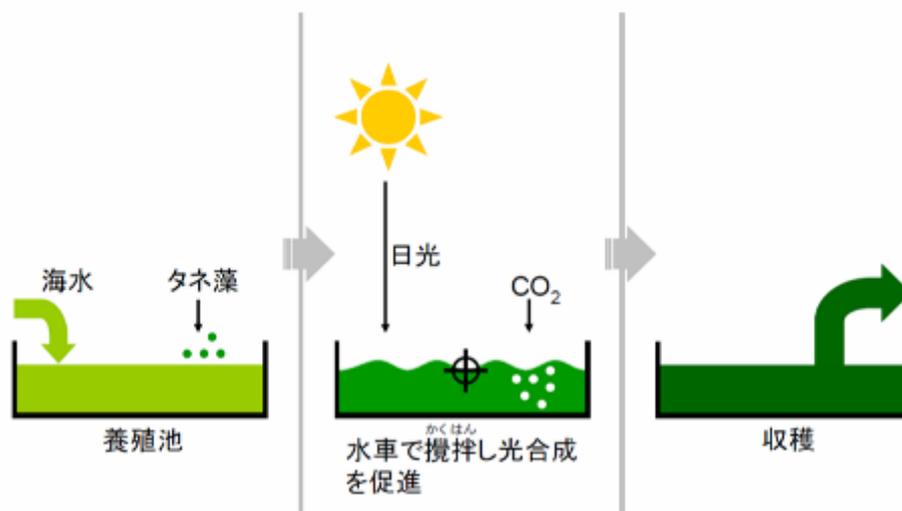


図 1-7 屋外培養システムのフロー

イスラエルのシームバイオテック社(図 1-8)は、この屋外培養法に独自のノウハウを用いることで高密度の微細藻培養を行っており、本事業の対象種であるナンノクロロプシスでは 1.5×10^8 cells/ml という高密度化を実現している。現在、日本の種苗生産用に行われている本種の屋外培養での微細藻の密度が $2.0-3.0 \times 10^7$ cells/ml であることを考えると、シームバイオテック社は密度を飛躍的に向上させる培養技術を確立していることが分かる。



図 1-8 イスラエル・シームバイオテック社の屋外培養施設

本事業でも採用予定の3つの主要技術について簡単に説明する。

まず、培養槽内に効率的に CO_2 を供給するために独自の散気システムを採用し、 CO_2 の海水への溶解度を向上させている。微細藻は水中に溶存している CO_2 を光合成に利用している。そのため、 CO_2 を微細藻へ供給するために最も重要な技術がこの海水中への CO_2 の溶解であり、散気システムからのバブルの滞留時間やバブルの形態・サイズを調整することで、 CO_2 溶解の向上を図ることができる。

次に、シームバイオテック社は、水槽内の微細藻に均等に太陽光を行き渡らせるための海水の攪拌技術を確立している。高密度の培養槽内において、実際に効率的に光合成が行われているのは水深 2-3cm 以浅にとどまり⁸、それ以深では光合成効率が損なわれるため、海水の攪拌は重要な技術課題である。シームバイオテック社は NASA との共同開発により、流体力学を応用した海水の攪拌技術を考案し、高密度培養を実現している。

最後は、培養槽内の自動清掃技術である。培養槽は使用しているうちに壁面に藻の付着が起こり、生産性が低下する。この対策として、シームバイオテック社ではケーブル式の自動清掃装置を水槽内に循環させ、長期的な連続培養を実現している。

2) 連続培養の仕組み

大量培養のための施設は、収穫のための池のほかにも、増殖の過程に用いられる小型池や取水または回収した海水の成分調整のための池など、さまざまな設備を備えている(図 1-9)。

培養のための種藻は、環境のコントロールされた屋内施設で管理される。この種藻を効率的に増殖させるためには、養殖池の容量を次第に大きくする必要があり、異なるサイズの養殖池が設置されている。

海水貯槽は汲み上げた海水を貯蔵する場所で、必要に応じて新たに加えるための新鮮な海水を貯蔵する。

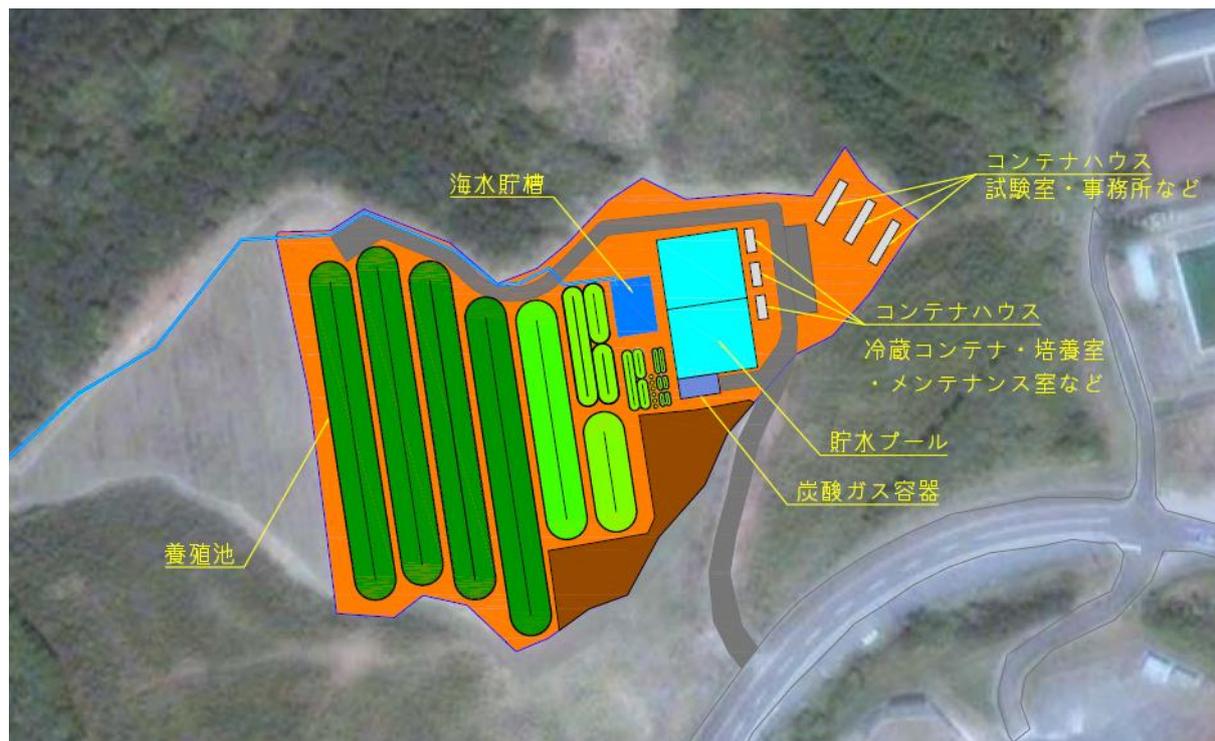


図 1-9 石巻市清崎に建設予定の培養施設の概要

(2) 閉鎖型循環培養システム

本事業での閉鎖型循環培養システムは、操業により生じる海水の取水・排水を最小限に抑えることにその狙いがある。これによって内陸部の耕作放棄地での操業を可能性にし、海水の取排水の際に生じる運送・運営コスト等を抑える効果が見込まれる。養殖池から収穫された海水は、遠心分離機で藻と海水に分離される。分離された海水は再利用のために貯水プールで成分調整などが施される。

閉鎖型循環培養システムでの海水の循環は図 1-10 のように行われる。面積 4,000m²・水深 0.3m の養殖池から毎日 120t の海水を収穫した場合、遠心分離機により分離された海水は約 119t になる。分離された海水は、養生のため貯水プールへと移動され、栄養分である窒素やリンの補充が行われ、再び養殖池へと戻される。また、遠心分離処理により減少した約 1 トンの海水は、海水貯槽の海水を補充することで補われる。

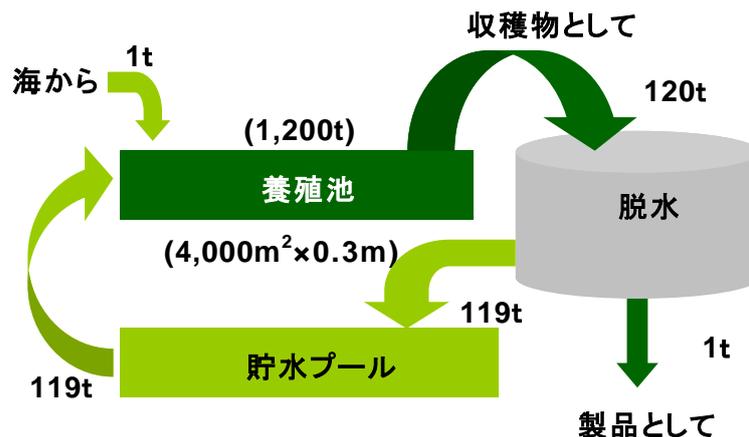


図 1-10 海水の循環利用

2. 2 閉鎖型循環培養システムの課題

(1) 環境条件に影響される培養条件

屋外培養の技術的な課題は、気象など外的環境の影響により安定的な生産の維持が難しいことにある。例えばシームバイオテック社の所有するイスラエルのプラントでは、強烈な日射の影響で年間 3-4%の水分が養殖地から蒸発し、海水の高塩分化をもたらす⁸。プラント建設予定地である石巻市とイスラエルのプラント所在地である Tel Aviv で比較をしてみると、Tel Aviv での年平均日照時間は石巻の約 1.7 倍の日照時間 (3316.8hrs) で、また年平均降水量は石巻の約半分程度 (530.7mm) である (表 1-6)。Tel Aviv では、夏季においては日照時間が長くほとんど降雨もないため (図 1-11、図 1-12)、この時期の蒸発が多い。イスラエルでは、新鮮な海水の取水を頻繁に行うことで、この問題を解決している。

このように、外的環境要因は地域に特有のものであり、本事業でも地域に適応した培養技術の確立が必要となる。

表 1-6 各月と年における平均の日照時間 (hrs)、気温 (°C)、および降水量 (mm) ^{9,10}

要素	平均日照時間(hrs)		平均気温(°C)		平均降水量(mm)	
	石巻	Tel Aviv	石巻	Tel Aviv	石巻	Tel Aviv
統計期間	1971 ~2000	1916 ~2007	1971 ~2000	1916 ~2007	1971 ~2000	1916 ~2007
資料年数	30	36	30	36	30	36
1月	167.6	192.2	0.5	13.0	33.1	126.9
2月	162.6	205.9	0.9	13.8	44.3	90.1
3月	189.7	235.6	3.7	15.4	70.3	60.6
4月	192.6	270.0	9.2	18.6	91.8	18.0
5月	206.5	328.6	14.0	21.1	98.2	2.3
6月	145.6	357.0	17.7	24.1	111.6	0.0
7月	147.9	368.9	21.3	26.2	131.0	0.0
8月	178.1	356.5	23.5	27.0	127.0	0.0
9月	134.0	300.0	19.9	26.0	163.1	0.4
10月	159.7	279.0	14.2	23.2	104.1	26.3
11月	149.3	234.0	8.3	19.0	65.1	79.3
12月	155.4	189.1	3.4	15.2	24.8	126.4
年	1988.9	3316.8	11.4	20.3	1064.5	530.7

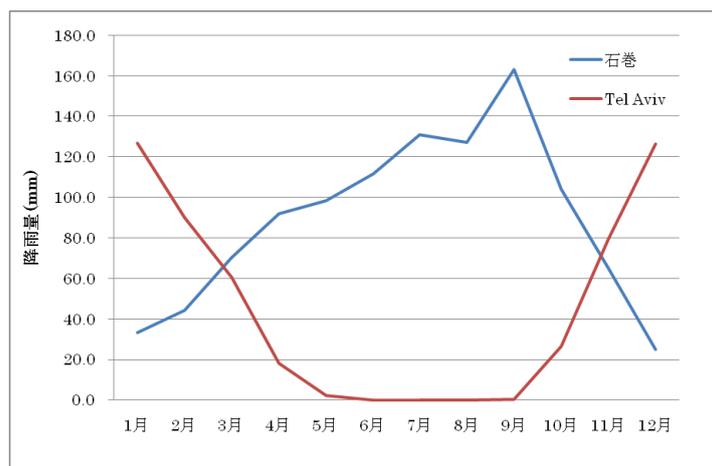


図 1-11 石巻市とイスラエルの Tel Aviv での一年間での平均降雨量の変化 ^{9,10}

⁹ 気象庁データ(石巻): <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

¹⁰ Tel Aviv 気象データ: http://en.wikipedia.org/wiki/Tel_Aviv



図 1-12 石巻市とイスラエルの Tel Aviv での一年間での平均日照時間の変化^{9,10}

(2) 東北地方における屋外培養の課題

プラント建設予定地である宮城県石巻市での外的環境により生じる課題について、以下に検討する。

1) 冬季における気温の影響

培養条件の重要なポイントの一つは海水の温度である。海水を循環する手法をとることと養殖池の水深が 30cm と浅いことから、外気温が養殖池の海水に与える影響は非常に大きいことが想定される。ナンノクロロプシスの至適温度は 8–18℃とされている⁸。石巻市の気温は年平均で 11.4℃と至適温度内であるが（表 1-6）、月ごとの変化をみると、12月から3月までの4ヶ月間は気温が 5℃以下となる（図 1-10）。前述の培養試験の結果により、ナンノクロロプシスは 5℃の環境下においても増殖はするものの、定常期へ至るまでの日数を著しく要することが分かっている（図 1-3）。従って、冬季の4ヶ月間に生産を行うためには、水温を維持するための何らかの対策が望まれる。

2) 夏季における降雨の影響

夏季にはほとんど降雨のないイスラエルとは反対に、石巻ではこの季節に降雨量が多い（図 1-13）。年平均での降雨量も、石巻では Tel Aviv のほぼ倍（1064.5mm）である。

閉鎖型の循環培養システムでは、降雨による水槽内の水量の増加が問題となる。沿岸部のプラントであれば緊急の排水により水量をコントロールすることは容易であるが、内陸部である場合は、排水のための予備の貯水槽と、それを排水するための何らかの処置が必要となる。

降雨による影響はまた、養殖池内の低塩分化を引き起こす。塩分は汚染や異物混入（コンタミネーション）の抑制に重要な役割を担うと考えられている。

一方、培養海水の低塩分化がナンノクロロプシスの成長に及ぼす影響は小さいことが、佐々木らにより報告されている。今後の課題としては、塩分とコンタミネーションの関係を解明していくことが重要である（表 1-6）。

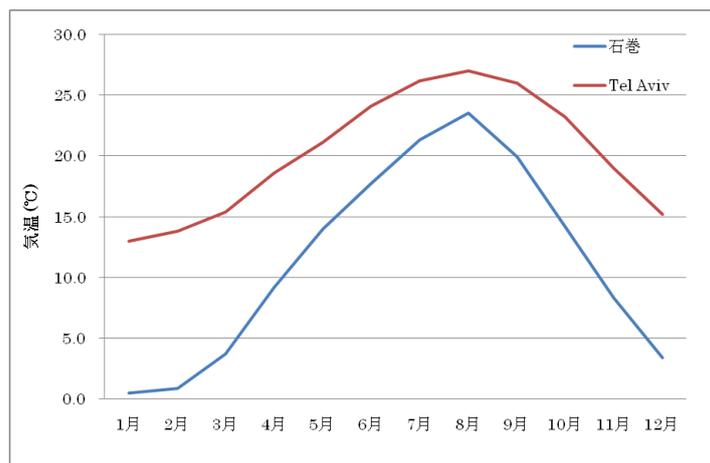


図 1-13 石巻市とイスラエルの Tel Aviv での一年間での平均気温の変化

3) コンタミネーション

取水した海水には、海洋中に生息する大量の原生動物など他の微生物が存在しているので、取水後はこれを除去する必要がある。海水のろ過や塩素などによる化学的な処理により、これらを除去または死滅させることが可能である。

コンタミネーションは培養の初期段階において徹底的に除去もしくは死滅させることが大前提であるが、藻の養殖中にもコンタミネーションが起こることが想定される。ナンノクロロプシスの培養においては、以下の手法が効果的であると判断される。

①塩素に強いナンノクロロプシス

ナンノクロロプシスは塩素に対する耐性が高いことが報告されており、取水された海水は塩素処理を施されて使用されるので、海性の異物は駆除される。陸性のコンタミネーションの可能性も予想はされるが、陸生生物であれば浸透圧の関係により海水中で死滅する。

従って、安全策として培養池に適正な塩素処理を施すことによりコンタミネーションによる生産性への影響を最小限に抑えることが可能である。塩素によるナンノクロロプシスの生産性に及ぼす影響や、コンタミネーション防御のための有効な塩素の添加量は、今後検討すべき課題である。

②コンタミネーションに強い高密度培養

培養槽内の藻の密度が高い状態にあるときはコンタミネーションによる生産性への影響はほとんどないことが報告されており、実際にナンノクロロプシスの培養を手掛けている種苗養殖業者へのヒアリングからも確認できている。シームバイオテック社の技術による屋外での培養密度は 10^8 cells/ml と高く、現在の日本の培養で達成可能な密度の約 5 倍に相当する。この培養密度環境下でのコンタミネーションによる生産性への影響は極めて小さいと考えている。

第2章 オメガ 3 抽出技術の検討

1. 微細藻からの油分抽出技術の検討

1) これまでに得られた知見・技術

わが国では商業生産規模で微細藻から油分を生産している所は未だないが、海外ではすでに行われており、機械的に細胞壁を破砕してから有機溶媒で油を抽出する方法がとられている¹¹。微細藻には細胞壁が強固なものが多く、ヘキサン等の有機溶媒だけでは微細藻から油分を十分に抽出することができない。

細胞壁破砕のための機械として、ビーズミルや超音波処理が使われている。ビーズミルは、縦型または横型のシリンダー内に高密度に充填されたプラスチックやガラス製のビーズが、シリンダー内に供給された湿状態の微細藻と衝突し、微細藻の細胞壁を破砕するものである。超音波処理法は、微細藻の懸濁液中に特定の振動数の超音波を与えることで生じる真空の気泡（キャビテーション）の衝撃波で細胞壁を破砕するものである。この他に、微細藻の懸濁液を狭い間隔を高圧下で通して破砕する高圧ホモジナイザー処理法、10–20kHzの振動数の音波を用いて細胞壁を破壊する方法や、マイクロ波処理法等がある。

わが国で食品衛生法上食用向けに使用できる有機溶媒は、ヘキサン、アセトン、エタノールに限られ、上記の物理的方法または他の方法との組み合わせでどの程度の油脂が抽出できるか実験によりベストな条件を見出す必要がある。尚、バイオ燃料向けの油にはそのような規制はない。

我々が対照としている、微細藻ナンノクロプシスからの油の抽出についての研究報告はほとんどない。

2) 今回試験をして分かったこと

ナンノクロプシスから油分を抽出する方法を検討するため、現在までに以下のような実験を行った。

供試品として、脂質含量約 15%のナンノクロプシス乾燥粉末を用いた。尚、脂質として定量されるものの中には、トリグルセリド、脂肪酸、リン脂質、レシチン、コレステロール、ワックス、カロテノイド、クロロフィル等が含まれ、供試品中には脂肪酸が 9.5%、その中に EPA は 3.3%含有していた。即ち、脂肪酸中の EPA 含量は約 35%であった。

- a. ソックスレー法でヘキサンを用いて脂質の抽出を行ったところ、脂質含量は全重量の 3%程度であった。
- b. 細胞壁を破砕させるため、供試品に 10 倍量の水を加え、最初に高温で酸処理し、次いで細胞壁分解酵素を加えて反応させ、その後ヘキサンで抽出したところ、脂質含量は全重

¹¹ J. M. Ferrentino : Microalgal oil extraction and in situ transesterification, (2006)

量の 14%と、供試品中のほぼ脂質が抽出できることが分かった。尚、本工程で酵素処理を省くと、脂質含量は全重量の 11%程度であった。

c. 細胞壁を破碎させる他の方法として、供試品に 10 倍量の水と有機酸を加え、121℃以上で加熱してから細胞壁分解酵素を加えて反応させ、ヘキサンで抽出後に超音波処理した。この結果から得た脂質含量は、全重量の 5%程度であった。しかし、アセトン-ヘキサン (2:1) 混合溶媒で抽出すると、脂質含量は全重量の 14%になった。アセトン-ヘキサン (3:1) の混合溶媒で抽出すると脂質含量が全重量の 15%となり、供試品中の脂質がほとんど抽出できることが分かった。尚、本工程で酵素処理を省くと、脂質含量は全重量の 12%程度であった。

c の処理で得られた脂肪酸組成を表 2-1 に示す。前処理 (オートクレーブ・酵素処理) の有無で組成に若干の差がみられた。

表 2-1 アセトン-ヘキサン (3:1) 抽出物の脂肪酸組成 (area %)

脂肪酸	前処理なし (%)	前処理あり (%)
C14 : 0 (ミリスチン酸)	5.0	4.8
C14 : 1 (ミリストレイン酸)	1.0	1.4
C16 : 0 (パルミチン酸)	20.3	20.3
C16 : 1 (パルミトレイン酸)	23.9	25.1
C18 : 0 (ステアリン酸)	0.6	0.4
C18 : 1 (オレイン酸)	7.9	6.0
C18 : 2 (リノール酸)	3.2	2.7
C20 : 4 n-6 (アラキドン酸)	3.9	4.7
C20 : 5 n-3 (EPA)	21.0	24.0



図 2-1 超臨界 CO₂ 抽出装置

d. 超臨界二酸化炭素で供試品から直接油分を抽出する方法について、東北大学超臨界溶媒工学センターにある超臨界二酸化炭素装置(図 2-1)を用いて検討した。フローを図 2-2 に示す。

超臨界状態とは臨界温度・圧力を越えた状態をいい、超臨界流体は気体のような拡散性と液体のような溶解性を合わせ持っている。超臨界二酸化炭素の臨界温度・圧力は、それぞれ約 31℃・約 7.5Mpa と他の物質に比べて低いことから扱いやすく、しかも大気圧に戻せば二酸化炭素は気化するために、抽出後の脱溶媒は容易である。また無味無臭であることも併せて、食品や医薬品の抽出に幅広く利用され、安全性の面でも全く問題がない。

試験は、抽出槽に供試品を入れ、そのまま抽出するところから始めたが、抽出された脂質は全重量の 7%程度と少なかった。そこで抽出率を上げるために細胞壁を破碎する方法として、抽出操作の前に抽出槽の中で圧力を上げ、その後急激に減圧する爆砕処理を行った。また、供試品をエタノールに含浸させてから行う方法も検討した。

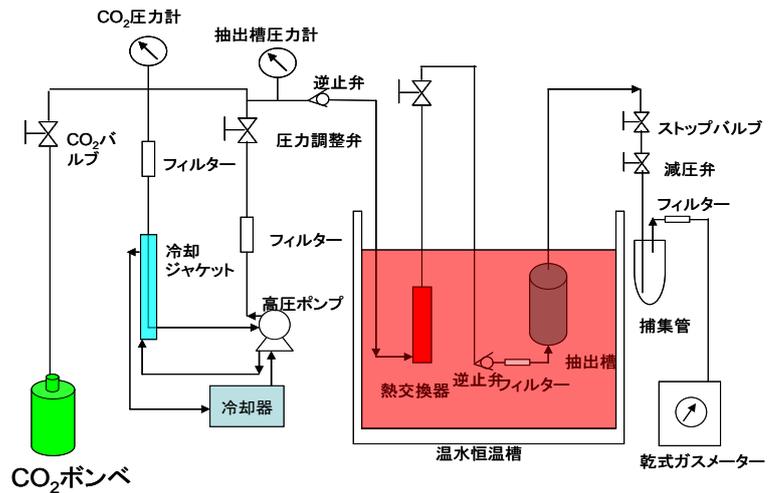


図 2-2 超臨界 CO₂ 抽出装置フロー

実験条件を表 2-2 に、抽出した脂質の脂肪酸組成を表 2-3 に示す。爆砕処理を加えただけではほとんど効果がなかったが、エタノールに含浸させると、供試品に含有する脂質の 36-42%が抽出された。低い脂質抽出率の原因として、①抽出槽の構造の影響、②温度や圧力等の運転条件の設定の問題、③脂肪酸が魚油のようなグリセリドの形ではなく、別の物質と結合していることに起因する超臨界二酸化炭素への溶解度の低下、などが想定され、さらなる検討が必要である。

表 2-2 実験条件

実験日	02/15	02/17	02/18	02/24	02/25
試料重量(g)	120	120	120	120	120
抽出圧力(MPa)	25	25	25	25	25
抽出温度(°C)	45	45	45	65	65
抽出速度(L/min)	8.274	8.247	8.19	8.069	8.041
抽出槽内線速度(cm/min)	0.619	0.618	0.614	0.605	0.603
エタノール含浸時間	12.5時間	12.5時間	12.5時間	12.5時間	12.5時間
急減圧処理(細胞壁爆砕)	有	有	有	有	有
抽出時間(時間)	6	6	6	6	6
サンプリング	2時間毎	2時間毎	2時間毎	2時間毎	2時間毎
抽出物重量					
0→2時間(g)	2.0487	2.7168	2.8741	4.9389	4.7334
2→4時間(g)	2.1076	3.2377	2.9856	1.334	2.5494
4→6時間(g)	3.5203	1.5425	1.0867	1.5764	0.8661
合計(g)	7.6746	7.497	6.9464	7.8487	8.1489
油脂抽出率(%)	39.972	39.047	36.179	40.879	42.442

表 2-3 脂肪酸組成

2/15条件45°C 25MPa エタノール含浸一晚 2h保持後25MPa爆砕 6h抽出

	نانノ原料(%)	0215抽出残渣	0215抽出2h	0215抽出4h	0215抽出6h
14:0ミリチン酸	3.702	3.647	5.052	4.768	5.823
16:0パルミチン酸	20.114	20.563	17.962	18.497	21.284
16:1パルミトレイン酸	26.194	26.623	29.101	29.866	31.791
18:0ステアリン酸	0.403	-	0.660	0.658	-
18:1オレイン酸	3.589	4.109	2.836	2.680	2.120
18:2リノール酸	2.078	2.490	1.180	1.336	-
20:4アラキドン酸	6.298	7.418	4.470	4.552	4.926
20:5エイコサペンタエン酸	26.914	24.964	28.392	27.756	30.132
EPA濃縮率	-	92.755	105.492	103.128	111.957

2/25条件65°C 25MPa エタノール含浸一晚 2h保持後25MPa爆砕 6h抽出

	نانノ原料(%)	0225抽出残渣	0225抽出2h	0225抽出4h	0225抽出6h
14:0ミリチン酸	3.702	3.895	5.062	4.936	4.847
16:0パルミチン酸	20.114	20.479	17.025	18.348	17.905
16:1パルミトレイン酸	26.194	26.435	28.562	29.864	30.223
18:0ステアリン酸	0.403	-	-	-	0.588
18:1オレイン酸	3.589	3.791	2.105	2.333	2.291
18:2リノール酸	2.078	1.940	1.570	0.735	1.194
20:4アラキドン酸	6.298	7.719	5.638	5.063	5.094
20:5エイコサペンタエン酸	26.914	25.436	31.911	30.959	29.910
EPA濃縮率	-	94.508	118.567	115.029	111.132

3) 今後トライすること

①有機用溶媒で脂質を抽出する方法

前処理として高温加熱または酸処理後に細胞壁分解酵素を加えて細胞壁を破壊させ、次いで有機溶媒（アセトン・ヘキサン）で脂質を抽出する製法について、どの組み合わせが最も効率がよいのか、また、商業生産に向くのか、基礎実験および工業化試験により確認する。

また、ビーズミル、超音波、高圧ホモジナイザー、マイクロ波などの物理的な処理法についても並行して検討していく。

②超臨界二酸化炭素で直接脂質を抽出する方法

超臨界二酸化炭素は脂質中の複合脂質（リン脂質や糖脂質）をほとんど溶解せず、単純脂質（グリセリド）や誘導脂質（脂肪酸、カロテノイド、ステロールなど）は比較的良好に溶解するといわれている。

供試品の脂質がどのようなものと結合して細胞中に存在しているのか明らかでないが、脂肪酸の大部分がグリセリドやステロールまたは遊離の脂肪酸であれば比較的容易に超臨界二酸化炭素で抽出されるが、その他のものに結合していれば一旦加水分解等の処理をしてから超臨界二酸化炭素抽出を行わなければならない。従ってまずは供試品の脂質の構成を調べなければならない。それと抽出槽が微粉末からの抽出に適した構造になっているのか等、機械的な面での検討も必要と思われる。

2. オメガ3抽出技術の検討

1) これまでに得られた知見・技術

オメガ3とは、二重結合を複数有する多価不飽和脂肪酸のうち、メチル基の方から数えて3番目の位置に最初の二重結合を持つ多価不飽和脂肪酸（PUFA）のことで、 ω 3系多価不飽和脂肪酸と呼ばれる。炭素数が20で二重結合を5個有するものがEPA（エイコサペンタエン酸）で、炭素数が22で二重結合を6個有するものがDHA（ドコサヘキサエン酸）である。尚、炭素数が20で二重結合を4個有するARA（アラキドン酸）は、メチル基の方から数えて6番目の位置に最初の二重結合を持つので、 ω 6系多価不飽和脂肪酸と呼ばれる。

一般に有機溶媒は脂質（各脂肪酸で構成されるモノ、ジ、トリグリセリド）に対する溶解度は大きいですが、各脂肪酸から構成される脂質に対する分離選択性が低いため、微細藻中の脂肪酸と有機溶媒に抽出された脂質の脂肪酸組成はあまり変わらない。

これに対して、超臨界二酸化炭素を用いたオメガ3の抽出に関する報告は数多くあり、猪股ら¹²は脂肪酸と超臨界二酸化炭素の溶解度と相平衡について報告し、脂肪酸エステルの炭素数が異なれば溶解度が異なることを示した。これは微細藻油中にEPAと類似の構造を有する脂肪酸が含有していても、超臨界二酸化炭素によりEPAを高濃度に濃縮できることを示唆するものである。また、Roiら¹³はトマト種子からの油脂の抽出で、トリグリセリドの溶解

¹² H. Inomata *et al.* : Vapour-liquid equilibria for binary mixture of carbon dioxide and fatty acid methyl esters, *Fluids Phase Equilibria*, 91,349,(1983)

¹³ B. C. Roy *et al.* : Temperature and pressure effects on supercritical CO₂ extraction of tomato seeds oil,

度は温度一定のもとでは圧力の上昇に伴って増加し、圧力一定下では温度上昇に伴って減少し、経時的に抽出物の組成が変化したが、これは構成脂質の溶解度が異なっているため溶解度の高い脂質から抽出されたからである。短鎖脂肪酸や不飽和脂肪酸は溶解度が高く、それらを構成脂肪酸とするトリグリセリドが最初に抽出されると報告し、微細藻を超臨界二酸化炭素法で抽出した場合、圧力と温度を変化させることで ω 3系 PUFA の濃度が高まることを示唆するものであった。

2) 今回試験をして分かったこと

有機溶媒抽出法、超臨界二酸化炭素抽出法とも、試験を始めて日が浅く、物理的処理法についても検討していく必要性を強く感じた。

3) 今後トライすること

オメガ3の有効な抽出法について、有機溶媒抽出法、超臨界二酸化炭素抽出法、物理的処理法の3つのうちどれがいいのか、今後実験により確認していきたい。

3. EPA 濃縮・分離技術の検討

1) これまでに得られた知見・技術

イワシ油を原料とした純度95%以上のEPAエチルエステル(EPA-Et)が、閉塞性動脈硬化や高脂血症の治療薬として20年程前から販売されている。今まで、EPAを高純度に分離・精製するために種々の製法が検討されてきた。最初に真空蒸留法が研究され、これによる分離・精製は100Pa、200℃の真空、高温下で操作されることから、熱に不安定な高度不飽和脂肪酸(PUFA)には厳しいことが分かった。これに代わる製法として液体クロマトグラフィー(HPCL)法が検討されたが、最終的には溶剤との分離が必要となり、熱による劣化等の観点から蒸留の適用が困難であった。他に、尿素が飽和脂肪酸類と包接化合物を形成する尿素包接法や硝酸銀吸着法等もあるが、複雑な工程と溶剤の使用により、安全性や品質に問題があった¹⁴。

一方、食品用濃縮品として、EPAのグリセリドタイプのものがイワシ由来の魚油からウィンタリゼーション(低温ろ過)法で製造されたが、収率を考慮するとEPA含量は30%が限度である。

最近、さらに濃度を高める手段として脂肪分解酵素(リパーゼ)を用いた方法が開発された。本製法はPUFAに作用性が低いある種のリパーゼを作用させ、PUFA以外の脂肪酸を加水分解して遊離脂肪酸にすることで、未分解のグリセリド中にEPAなどのオメガ3を濃縮させるものである^{15,16}。ただし本製法の場合、EPAやDHA、ARA等、各々の成分の分離ができないという問題がある。リパーゼには、PUFAの中の各脂肪酸に対する作用の選択性は

Int. J. Food, Sci, Tech.; 31, 137-141 (1996)

¹⁴鈴木啓正, 陳 鈞, 阿尻雅文, 猪股 宏, 新井邦夫: 温度勾配を賦与した超臨界二酸化炭素精留塔を用いたEPA-Etの高度精製, 日本油化学会誌, 46,3,(1997)

¹⁵島田祐司, 杉原秋雄, 富永嘉男: リパーゼ反応を利用した高度不飽和脂肪酸含有油の高度加工, New Food Industry, 40,1,(1998)

¹⁶丸山一輝: リパーゼを用いた高度不飽和脂肪酸含有油脂の製造法, 学位論文, (1999)

ないためである。なお、本製法で得られた EPA 濃縮品は、EPA 含量 45%程度のもものが多く販売されている。

脂質から PUFA が抽出できたとしても、そこから EPA のみが分離されるわけではない。従って抽出装置に塔底から塔頂へ温度勾配をつけた還流塔を設置し、脂肪酸の炭素数に基づく溶解度差を利用して目的の成分を分離・精製する必要がある。齊藤¹⁷は、脂質中に EPA と DHA がそれぞれ約 20%と 10%含有するホタテガイ内臓の凍結乾燥品から超臨界二酸化炭素で脂質を抽出し、トリグリセリドから各々の脂肪酸を分離させるためエチルエステル化を行い、抽出器の出口に還流塔を設置した超臨界二酸化炭素抽出装置で試験を行った。EPA・DHA エチルの最高濃度は、それぞれ 92.6%・60.4%であった。試験の結果から、還流塔の温度勾配を大きくすると精製度が向上し、二酸化炭素流速を大きくすると回収率が向上することを示した。

以上のことから、超臨界二酸化炭素法で藻油から EPA や DHA などの PUFA を濃縮・分離することは可能である。しかしこの為には、ナンノクロロプシス中に存在する脂肪酸がどのような形で存在しているのか(グリセリドなのか)、加水分解などの前処理が必要なのかを調べ、温度や圧力などの操作条件を検討しなければならない。

2) 今回試験をして分かったこと

超臨界二酸化炭素精留装置で藻油から EPA を濃縮・分離する方法について、還流塔を設置した超臨界二酸化炭素抽出装置(図 2-3)を用いて、八戸工業高等専門学校物質工学科にて基礎試験を行った。装置のフローを図 2-4 に示す。表 2-4 に示す条件で運転を行ったが、脂肪酸の分離はうまくいかなかった。この原因については、今後検討していきたい。



図 2-3 超臨界 CO₂ 精留装置

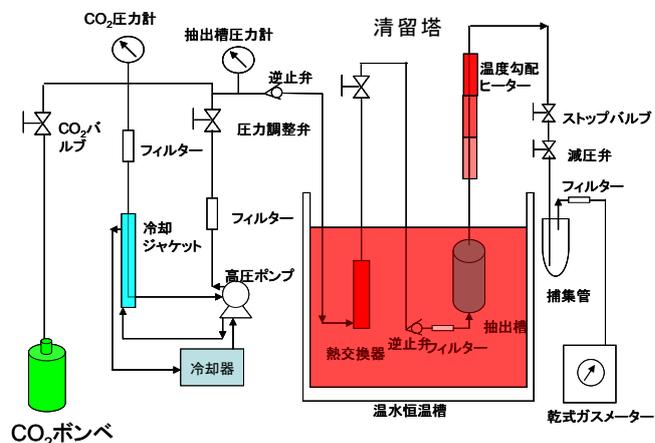


図 2-4 超臨界 CO₂ 精留装置フロー

3) 今後トライすること

サプリメントなどの食品向けにはトリグリセリド型の脂肪酸、医薬品向けにはエチルエステル型の脂肪酸と規定されている。従って EPA 濃縮技術については、EPA45%濃縮品の食

¹⁷齊藤貴之:超臨界二酸化炭素を用いたホタテガイ内臓からの EPA および DHA エチルの製法, New Food Industry, 52,6,(2010)

品向け商品には酵素法（リパーゼ）でトリグルセリド型、EPA 95%濃縮品の医薬品については超臨界二酸化炭素抽出技術でエチルエステル型の商品を現段階考えている。

EPA45%濃縮品の酵素法（リパーゼ）での製造については、他社では既に生産されていることもあり外部に委託する考えである。ナンノクロロプシスの藻油からの製造に問題があれば、検討課題として取り組むつもりである。EPA 95%濃縮品の超臨界二酸化炭素抽出法での製造については、エチルエステル型の商品を現段階考えているが、トリグルセリド型の商品の可能性についても検討してみたい。超臨界二酸化炭素抽出技術による EPA の濃縮・分離は、抽出槽の圧力、温度、還流塔の温度勾配、二酸化炭素流速など種々のパラメーターについて詳しく検討をしていく必要がある。

4. 超臨界二酸化炭素抽出法による EPA 濃縮品のコスト試算

今までに行ってきた調査および試験の結果から、現時点で最も可能性の高いと考えられる方法で製造した場合の製造コストについて試算した。

前提条件

- 4ha（40,000m²）の養殖池で、ナンノクロロプシス藻体を年間 360 トン（乾物換算）生産するケースを基準とする。
- 収穫した湿藻体は、餌料向け以外は噴霧乾燥により乾燥藻体へと処理する。乾燥藻体からの脂質抽出は、加熱・酵素・溶媒抽出法で行う。EPA 45%濃縮品はさらに酵素（リパーゼ）法で、EPA95%濃縮品は超臨界二酸化炭素抽出法で製造する。
- 乾燥藻体には 15%の脂質が含有し、脂質の 64%が脂肪酸で、その内の 32%が EPA とする。乾燥藻体から藻油への抽出歩留を 95%、藻油から EPA45%品への抽出歩留を 95%、EPA95%品への抽出歩留を 86%とする。
- 乾燥藻体 150 トン（固形分 5%）から EPA45%品が 9.2 トン/年生産されるとする。これにより、EPA45%品 1kg 当たりの乾燥藻体の原単位は 16.3kg となる。
- 藻体 150 トン（固形分 5%）から EPA95%品が 4.0 トン/年生産されるとする。これにより、EPA95%品 1kg 当たりの乾燥藻体の必要量は 37.5kg となる。
- 乾燥藻体の製造原価を 1,400 円/kg とする。
- 脂質の抽出工程以降は外部に製造委託するとする。製造委託費用については業界の情報を参考に設定する。

上記の条件に基づいて、EPA45%濃縮品と EPA95%濃縮品の製造コストについて試算したものを、表 2-4 と表 2-5 にそれぞれ示した。EPA45%濃縮品については、魚油由来の同等品の市場価格が kg 当たり 40,000 円である。製造原価がその半分とみると 20,000 円であり、左程大きな差ではない。EPA95%濃縮品については、魚油由来の医薬品より割高に思われるが、はっきりしたことは不明である。

表 2-4 EPA45%濃縮品 1kg あたりの製造コスト試算

	原単位 kg／製品 kg	単価 円／製品 kg	金額 円／製品 kg
乾燥藻体	16.3	1,400	22,820
委託製造費	—	—	2,000
合計			24,820

年間生産量：9.2 トン

表 2-5 EPA95%濃縮品 1kg あたりの製造コスト試算

	原単位 kg／製品 kg	単価 円／製品 kg	金額 円／製品 kg
乾燥藻体	37.5	1,400	52,500
委託製造費	—	—	8,000
合計			60,500

年間生産量：4.0 トン

第3章 商品化開発・市場調査

1. 商品化開発及び市場調査のアプローチ

1.1 ナンノクロロプシスの商品化開発の方向性の概観

本事業で培養を予定しているナンノクロロプシスについては、①魚貝類餌料への利用検討、②オメガ3の商品化検討、③家畜飼料への利用検討、④バイオ燃料への利用検討の4つの用途が想定できる。

ナンノクロロプシスを利用した商品は上記の中で、①と④については市場が存在しているが、②と③については、現在は存在していないため、既存の類似市場や類似市場に関連している企業等からのヒアリングにより商品化開発について分析、市場調査を行った。

(1) 四つの用途市場の現状

①魚介類餌料への利用検討

魚貝類餌料への利用は、我が国では古くから養殖漁業の種苗生産の際に仔魚・稚魚の餌となるワムシを育成するために、ナンノクロロプシスが利用されている。しかしながらナンノクロロプシスの継続的生産の難しさから、現状では類似製品として淡水クロレラが利用されている。しかし栄養価等においてはナンノクロロプシスの方が優れた性質をもつため、本事業において安定供給体制が確立され種苗業界においてブランドが認知されれば、淡水クロレラに代替する商品として商品化することが可能であると想定できる。物流面では保存用の冷凍倉庫の利用及び宅急便の利用などで比較的容易に確立することが可能と推察できる。

養殖種苗用の餌料としては、現状では、栄養価等において優れた性質をもつナンノクロロプシスよりも淡水クロレラが幅広く利用されている。これは、ナンノクロロプシスは大量培養が技術的に難しく高価につく餌料である一方で、淡水クロレラは大量安定供給体制が構築されているためである。しかしながら、ナンノクロロプシスの持つ優れた栄養価に加え、海水産であるため海水中に投与されても生存し、海水培養槽を汚さない上にアンモニア等を浄化する性質を持つことなどから、大量培養システムが確立され、価格的に競争力を持つことが出来れば、淡水クロレラからの転換が起こることが予想される。ワムシ餌料としての市場規模は、種苗業者からのヒアリングを総合すると、国内において3-5億円程度の市場が想定される。また、海洋資源枯渇問題から、今後とも養殖漁業が国内、また世界において拡大すれば大幅な市場拡大が長期的には見込める。

②オメガ3の商品化検討

ナンノクロロプシスが豊富に含む不飽和脂肪酸のオメガ3の一つであるEPAは、これを利用したサプリメント及び医薬品原料としての市場性が高いと想定される。また、ナンノクロ

ロブシスは有用なアミノ酸も豊富に持つため、健康食品としての利用が想定される。

EPA は、DHA と並んでオメガ 3 の不飽和脂肪酸として人の健康維持に寄与している。高齢化社会化の進行や医療費削減のためにも、その消費の拡大が日本の厚生労働省をはじめ世界で推奨されている。EPA は血行促進による高血圧、高脂血症予防、DHA は脳・視神経組織の発達に寄与するとされる。現在は魚油を原料に EPA や DHA の供給がなされているが、藻類由来原料としては DHA のみが大規模商業化されている。原料市場の規模は、各種資料を総合すると現状で 1,500 億円から 2,000 億円と推察されるが、今後は一層の拡大が想定される。うち藻類については、事実上米国のマーテック社が DHA の販売を独占しており、市場規模は約 300 億円となっている。新規参入により EPA、DHA 等の藻由来のオメガ 3 を安定大量供給することができれば市場開発の余地は大きいといえる。

さらに魚油由来の EPA と比較すると、藻類由来の EPA は、海洋資源枯渇問題や重金属等の汚染問題から無縁であることに安全面の優位性がある。特に藻類由来の EPA では、世界で大規模商業化に成功した企業が存在していないため、早期に藻類由来の EPA を大規模商業化すれば、日本のみならず世界において大きな市場開発の可能性がある。

世界的なネットワークをもつサプリメントコンサルティング会社であるグローバルニュートリショングループ社（GNG）の調査によれば、国内の EPA と DHA の市場規模は 100 億円程度と推計される。安定的に 4-5% の成長が期待されるが、EPA と DHA の認知度が進めば、さらに市場規模が成長する可能性も想定されるため、商品化の可能性は高いといえる。

なお、EPA は人の体内で DHA に転換されるため、EPA と DHA を個別に取扱うのではなく一体化した市場として分析を行う。

③家畜飼料への利用検討

家畜飼料への利用検討については、EPA や有用蛋白質を抽出した残渣の利用が考えられる。残渣には飼料として有用なアミノ酸が豊富に含まれている。大豆から油を抽出した残渣である大豆粕（大豆ミール）は、畜産用の配合飼料原料として幅広く利用されている。

ただし価格的には大豆ミールは非常に安価である。大豆ミールは国際商品価格動向によって価格形成がなされている。現在トンあたり 350 ドル（1 ドル 80 円で 3 万円弱）程度で取引されている。すなわち 1 キロ 30 円程度と極めて安価である。したがって大規模生産で低コスト化が実現できなければ、家畜飼料として早期に実用化することは困難である。

しかし、大豆のほとんどを輸入に頼っている現状を考えると、国内産原料による補完産業育成という観点で長期的な視点で商品化を模索することは意義がある。

④バイオ燃料への利用検討

バイオ燃料への利用検討については、4 つの用途の中で潜在的には最も市場規模が大きい。原油の世界の 1 日当たり需用は約 8,000 万バレル、1 バレル 100 ドル（ロンドン石油先物市場ベース、2011 年 2 月 6 日）とすると、 $8,000 \text{ 万} \times 100 \text{ ドル} \times 80 \text{ 円} \times 360$ と算出でき、生産額は約 230 兆円となる。石油埋蔵量は 13,542 億バレルと推定されているため、このまま行けば 47 年で枯渇することになる。また、急速に新興国での需用が拡大している一

方で、昨年の BP の事故により新たな油田探索に対しては規制がかかっている現状から、石油資源探索の動きが鈍化すれば、さらに、石油資源枯渇の動きは加速する可能性が高い。また、今回の東日本巨大地震により原子力政策推進の動きに見直しがかかることが想定されるため、代替エネルギー開発の動きは、日本のみならず世界においても一層加速することが予想される。

そのため石油に代替する安価なバイオ燃料を、藻類を用いて商業化に成功することができれば、その市場規模は極めて大きいといえる。ただし、石油代替となるためには、1 リットルで 100 円程度と極めて安価に生産することが必要であり、商品化においては、培養コストと抽出コストを大幅に縮小することが不可欠である。

1. 2 調査方針

(1) 魚介類飼料への利用検討

既に市場が存在しているため、実際にナンノクロロプシスを養殖漁業用種苗の餌料として利用している事業者等にヒアリングを行い、市場規模及び事業化の道筋を探った。本調査では、ナンノクロロプシスを用いたワムシの育成に関する研究で数多くの論文を提出している能登島水産試験センターの研究者、養殖漁業や種苗事業に関する専門雑誌の編集者、養殖漁業及び種苗事業で日本で上位 3 事業者となる近畿大学水産事業部、株式会社山崎技研水産部、株式会社バイオ愛媛等に対してヒアリングを行った。

(2) オメガ 3 の商品化検討

現状の魚油由来の EPA の市場の規模、今後育成していくことになる藻類由来の EPA、及びナンノクロロプシス自体の健康食品化の 3 点について情報収集するため、EPA 取扱業者と健康商品のマーケティング会社にヒアリングを行った。

EPA 取扱業者としては、日本企業として、各種資料より有力業者であると見込まれた、マルハニチロ食品、タマ生化学、光洋商会、日水製薬、富士化学工業にヒアリングをおこなった。

マーケティング会社としては、世界的なサプリメントメーカー DSM 社に原材料を提供しているケミンジャパン社、健康食品市場において世界的ネットワークと有し、数多くの新規健康食品事業立ち上げ支援経験を有するグローバルニュートリショングループにヒアリングをおこなった。

(3) 家畜飼料への利用検討

家畜飼料への利用検討については、主に文献調査によって分析をおこなった。現状日本において利用される配合飼料の原材料の成分のうち、約 14% のシェアを占める大豆ミールに含まれる有用アミノ酸の成分がナンノクロロプシスにも豊富に含まれていることから、大豆ミールの代替として商品化が可能であると推察する。具体的には油脂の搾りかすに含まれるタンパク質を家畜飼料に利用するということが想定される。

乳牛や肉牛などの草食家畜が藻類の強固な細胞壁（細胞外皮）を分解する酵素をもっていることを利用して搾りかすを分解し、藻類のタンパク質を栄養源として活用することが可能と考えられる。

(4) バイオ燃料への利用検討

バイオ燃料に対するニーズは世界的に高まっているが、とうもろこしや大豆などの穀類や砂糖原料のサトウキビの利用は人類の食料資源との競合という問題を引き起こし、国際穀物価格の上昇要因となることから問題視されている。ジャトロファなどの非食物植物の利用も実用化されているが、これも食料生産可能な土地を利用するため、間接的には食料供給の可能性を低めることとなることが同様に問題視されている。

微細藻はそうした食料問題とは無縁であることから、急速にバイオ燃料として注目されている。微細藻の理論的なバイオマス生産量は、とうもろこしや大豆の数十倍から場合によっては数百倍に及ぶことも魅力とされる。しかし、バイオ燃料原料価格としてはいずれにせよ1キロ100円程度に抑えることが最終的には求められているため、商品化は、低コストで大量に藻から油分を抽出する技術の実用化が必須の要件となる。とうもろこしや大豆はエネルギー原料として容易に利用できる形で収穫される。しかし、藻類については、大量の水を除去することと、細胞壁の中から油分を抽出することのコストがかかる。現状では、とうもろこしや大豆からのバイオ燃料の方が安価である。藻類からのバイオ燃料を商品化するためには、油分を低コストでかつ大量に抽出する技術の確立が必須となる。したがって、調査においては、そうした長期的な視野で技術可能性についても分析した。

2. 魚介類餌料への利用検討

2.1 市場調査及び商品開発の可能性

養殖漁業用種苗市場については正確な開示市場情報が存在しないため、関係者からの話を総合して市場推計を行った。種苗における稚魚育成には、動物プランクトンの一種であるワムシが利用されている。このワムシを育成するための餌料としてナンノクロロプシスやクロレラなどがある。

2006年度のワムシ培養に関するアンケート調査¹⁸によると、ワムシの飼育においては、淡水クロレラを単独利用する事業者が全体の51%で、他の餌料との併用利用を含めると92%を占めており、近年のワムシ培養では淡水クロレラが主餌料となっている。市場規模は、関係者のヒアリング等を総合すると、淡水クロレラが乾物量換算で30-40トン流通しており、1キロ5,000円程度で取引がされている。ナンノクロロプシスについては、市場規模3トン前後であるが、販売価格は1キロ4万円程度であり、市場規模は1億円強となる。ただし、ナンノクロロプシスは、種苗業者が自ら培養している部分もあるので、その部分をあわせると、さらに規模が大きく、国内市場規模は合計で5億円程度と推計される。

¹⁸小磯雅彦：ワムシ培養に関するアンケート調査結果(2006年度)。栽培技研, 35, 63-71(2007)。

稚魚の育成においてはタイミングよく良質な餌を与えることが重要であり、安定的な供給体制が重要である。EPA などの高度不飽和脂肪酸を含むナンノクロロプシスは栄養価の高いワムシを育成し、健康な仔魚育成ために不可欠な餌料であるが、国内では大量培養技術が確立していないため安定供給が困難であった。一方、淡水クロレラは、クロレラ工業が大量培養に成功しており、入手が容易であることから利用が進んでいる。淡水クロレラは、海水に投与すると死滅するため、死がいの腐敗による水質悪化を防ぐために清掃のコストがかかる。また、クロレラにはワムシの育成に不可欠な EPA 等の高度不飽和脂肪酸が欠如するため、別途栄養強化が必要である。しかし安定供給が可能のために利用が進み、現在では、淡水クロレラを利用したワムシの育成方法が広く利用されている。

独立行政法人水産総合研究センター能登島栽培漁業センターの研究によれば、ワムシによる高度不飽和脂肪酸の摂取・蓄積は、ナンノクロロプシスを餌料とした時の方が淡水クロレラの時より効率的であった事が示されている。また、海産性であるナンノクロロプシスは、培養槽内で、その生命活動を通じて水質を浄化する効果が認められている。したがって、ナンノクロロプシスの安定供給体制が確立できれば市場が拡大する可能性がある。実際に山崎技研及び近畿大学にヒアリングをおこなった結果、安定供給が確立でき価格が魅力的な水準であれば、ナンノクロロプシスの利用は十分可能であるとの意見であった。

ワムシ餌料としてのナンノクロロプシスはそのままで商品となる。

2.2 ヒアリング

(1) 独立行政法人水産総合研究センター能登島栽培漁業センターへのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：技術開発 小磯主任

ワムシは唯一人間がコントロールできる動物プランクトンである。ナンノクロロプシスの量の40%がワムシとなる。植物性蛋白質から動物性蛋白質への変換効率40%は極めて高い。それを利用することができればいろんな広がりがあるのではないかと思う。

イワシはワムシの20%しか体重を増やせない。ナンノクロロプシスから見れば、 $40\% \times 20\%$ でわずか8%にしかない。これは効率性が悪い。ワムシを直接動物性蛋白質として摂取することを事業化できれば、商業的には極めて面白いといえる。

(2) 株式会社緑書房へのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：月刊「養殖」 植田編集長

現在日本では、養殖の種苗において稚魚のえさとして、海洋性動物プランクトンであるワムシが利用されている。そのワムシが食べる餌料として微細藻類等が利用されており、その市場規模は乾物量換算50トン程度と推計される。

ワムシの餌料として利用されているものは、淡水クロレラとナンノクロロプシスである。

この中で、ナンノクロロプシスが海洋性藻類であるため、海洋性魚類の種苗生産では培養環境に適し、栄養素から見て優れているとされている。しかし、大量培養技術が未確立であり、結果として極めて高価である。一方、淡水クロレラは大量培養技術が確立されており安価に供給されている。

淡水クロレラはナンノクロロプシスに比較すると以下の問題がある。

①淡水の藻類であるため海水にいれると直ぐに死滅し、水質が悪化する

②EPA など稚魚の健康な成長に不可欠な栄養素が不足している

また、ナンノクロロプシスには、水槽内を緑色にして直射日光を和らげる効果もあり、直射日光に弱い稚魚の育成にはプラスである。

以上のようにナンノクロロプシスと比較して難点のある淡水クロレラだが、②の課題については人工的な栄養補強により一応は対応している。大量培養による安価な市場価格による提供及び淡水クロレラによる培養技術の確立などで、①の培養槽の汚れの問題はあるものの、ワムシの餌としては市場の 9 割程度を占めているのが現状である。

一方、大量培養の技術が確立されていない高価なナンノクロロプシスは、ワムシの育成の最終段階の栄養強化のために一部利用されているに留まっている。

栄養素としてより優れ、培養槽の汚れの問題を解決するなど淡水クロレラよりも優れた特質を有するナンノクロロプシスが、競争力のある価格で供給できる体制が出来上がれば、淡水クロレラに置き換わる可能性は十分に考えられる。

なお、現状ナンノクロロプシスは非常に高価であるため、一部の種苗事業者はナンノクロロプシスの種藻を購入して独自に培養している。外部から安価なナンノクロロプシスを購入できれば、まずはその部分が代替される可能性がある。

ナンノクロロプシスの大量培養が可能となれば、将来は輸出することも考えられる。東南アジアでも養殖漁業は盛んであり、冷蔵物流等の商流を確立できれば、将来的には日本の数倍の市場を育成することも可能である。

日本の栽培漁業技術は圧倒的に世界をリードしている。海外において、日本産のナンノクロロプシスは、ワムシ餌料として日本の 2-3 倍の値段で取引されている現状がある。

国内の種苗業者は約 100 社程度であるが、その規模は様々である。種苗企業で注目すべきは、タイ、シマアジなどの種苗を行っている株式会社山崎技研の水産事業部（高知県高知市神田 2098-2）及び、バイオ愛媛株式会社（愛媛県今治市伯方町木浦甲 4522-1）等がある。

(3) 株式会社山崎技研へのヒアリング

2010 年 11 月実施

ヒアリング対象者：取締役 水産事業部 池田部長

当社は、近畿大学と並び種苗で日本をリードしている。2 事業者で日本の市場に 5 割程度のシェアを持っている。

山崎技研では、温度管理、寒冷対策、培養海水の塩素殺菌技法など、ナンノクロロプシス

の生産における留意事項の指導を受けた。

(4) バイオ愛媛株式会社へのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：取締役 開発生産部 太田部長
取締役 営業部 石川部長

ナンノクロロプシスは培養槽に添加している。窒素（アンモニア）を除去するためにも重要である。大手は、ナンノクロロプシスは使っているが、現状では、二次培養で利用している。（注：一次培養はワムシの生育だけに特化、二次培養は EPA などのワムシに栄養を強化する培養）

ナンノクロロプシスは外部から種藻で購入したものを、自社で培養して、ストックしておく、必要に応じて栄養強化に利用している。

スメーブジャパン社の取り組みについては、むしろバイオ燃料に興味がある。瀬戸内海には、塩田の跡地が多い。そこで微細藻を大量培養しバイオディーゼルを生産できるようになれば面白い。当社でも直ぐに利用できる 10 ヘクタールの土地の利用権を保有している。火力発電も近傍にあるため、CO₂をうまく利用できれば、事業化の可能性もあるのではないかと思っている。

(5) 近畿大学水産養殖種苗センターへのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：事業本部 浦川本部長
白浜事業場 那須場長
すさみ事業場 米島場長
富山実験場 高岡場長代理

かつてナンノクロロプシスを大量に利用していたが、現在は大幅に縮小して、淡水クロレラを利用している。

すさみ事業場において、ナンノクロロプシス培養槽を見学し、質疑応答した。

3. オメガ3の商品化検討

3.1 市場動向

全世界の食品、飲料、サプリー市場において、オメガ3（EPA、DHA）の市場規模は拡大している。オメガ3の健康維持への効能の認知も急速に進んでいる。Harvard School of Public Health では、オメガ3の食生活での欠乏が米国で年間9万6千人の死亡を引き起こしていると推定している。利用技術の開発により、オメガ3は様々な形態で提供されるようになり、パン、ヨーグルトなどの食品、牛乳やソフトドリンク、機能性ミネラルウォーターなどの飲

料、サプリ、乳幼児の栄養補給など用途も拡大している。

北米、欧州ではタイセイヨウダラがオメガ3の主な原料となっているが、本種の漁獲量は世界的に減少傾向にある。日本では、マルハニチロと日水が主要原料供給企業であるが、両企業とも、マグロをDHA、イワシをEPAの原料としている。マグロは世界的に漁獲量が増え、日本の漁獲量は相対的に低下傾向にある。イワシも世界的に漁獲量は減少傾向にある。世界的な漁獲高の減少傾向の中、魚油の価格は上昇傾向にあり、今後、魚由来のオメガ3原料価格は上昇すると推測される。

オメガ3は米国では2007年時点で5億USドルの市場規模があり、安定して年成長率20%で推移している。また、認知症や免疫改善に対する機能性食品や医薬品として、新たな市場が拡大している。魚由来の油は、高い成長が予想されるが、プレーヤーによる競争が激しい。

一方、藻由来の油は、乳幼児向けを中心に成長が予想されるが、現在は米国のマーテック社が独占している。

表 3-1 オメガ市場の世界市場規模

企業	魚および藻由来オメガ3系原料の年間世界市場規模推定		年成長率推定
	金額	重量	
DSM (オランダの医薬品、食品原料製造会社)	\$1.2bn-\$1.5bn (1,128億円-1,410億円)		10-13%
Frost & Sullivan (調査会社)		世界：71,452 トン 北米：26,948 トン アジア：21,145 トン EU:13,596 トン その他：5,762 トン 金額による市場規模を\$1.3bnとすると、オメガ3の平均原料価格は\$18.2/キロと推定される	30-40%
Croda (イギリスの医薬品、食品原料製造会社)	\$1.3bn (1,222億円)		25%

※1ドル=94円で計算

出典: "Omega-3 fatty acid use is growing rapidly." ICIS.com, November 2, 2009
<http://www.icis.com/Articles/2009/11/09/9260250/omega-3-fatty-acid-use-is-growing-rapidly.html>

■ 1985年に設立され、藻、キノコ類など微生物からDHA、オメガ6 ARA (arachidonic acid) 製品を製造

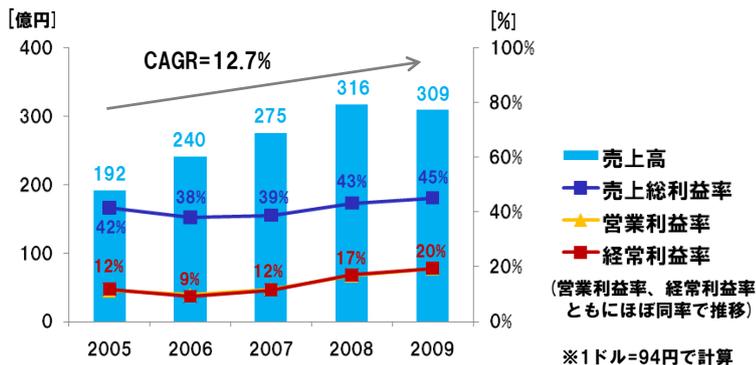
■ 主な製品

- “Life`sDHA”：ベジタリアン向けDHA製品。粉ミルク等の乳幼児向け製品、妊婦向け製品、粉ミルク、食品および飲料、サプリメント、動物用飼料に使用
- “Life`sARA”：ベジタリアン向けオメガ6 ARA (arachidonic acid) 製品。乳幼児向け製品に使用

■ 財務状況

- 売上高はCAGR12.7%で成長するなか、営業利益率および経常利益率ともに2009年で約20%
- 2009年度時点で総資産622億円に対して純資産570億円 (92.2%) でほぼ無借金経営

売上高および利益率の推移 (2005-2009)



2009年度B/Sの構成比



総資産622億円に対して純資産570億円 (92.2%)

出典： Martek 2009 annual report

図 3-1 米国マーテック社の概況

日本においては、DHA、EPA 配合サプリメントはシリーズサプリメントの定番商品の位置づけで、一定の需要を維持しており、2010年の市場規模は約195億円と推定される。著名な製品としては、2001年発売のサントリー「DHA&EPA+セサミンE」がある。現在も、シリーズサプリメントで実績を拡大するサントリーの中核商品として売上増加が続いている。その他の製品としては、2005年において、千葉の銚子で水揚げされた新鮮なイワシから低温抽出したDHAおよびEPAを使用した、DHCの「フィッシュオイル」が著名である。

DHA、EPA 単体訴求のほか、イチョウ葉、ギャバ、レシチンなどと組み合わせたブレインヘルス訴求商品のほか、血液サラサラ効果を謳った製品も多い。

DHAのみ、或いはEPAのみの製品の数は少なく、ほとんどの製品はDHAとEPAの両方を含んでいる。2010年4月に施行となった「2010年版食事摂取基準」では、オメガ3やオメガ6の年代別の摂取状況を明らかにし、目標量と推奨量が明示された。DHA・EPAについては18~49歳では不足が見られ、摂取量を大幅に増やす必要があるという見解が出された。望ましいEPA・DHAの摂取量として、18~70歳以上のすべての年代において1g/日以上という目標値が初めて示された。

また、持田製薬の処方箋薬「エパデール」のスイッチOTC化が進んでおり、店頭になぶようになれば、EPAサプリメント市場も活性化すると思われる。

EPAの食品用途（サプリメント、機能性食品、粉ミルクなど）は年間約100t、医薬品用

途（エステルタイプ）では約 150t と推定される。サプリメント用途での主流は純度 28%品である。消費者の認知度は DHA に比べて低い。今後は、血栓予防等血液凝固を抑える効果のある機能性食品としての普及が必要といえる。ここ数年、欧米や韓国からの引き合いが増えており、原料の輸出が拡大し、海外市場への展開が活発化している。

グローバルニュートリショングループからの情報によれば、EPA の取引価格は純度別におよそ以下の通りである。

- EPA18%：¥2,000/kg－¥2,500/kg
- EPA28%：¥5,000/kg－¥8,000/kg
- EPA45%：¥32,000－¥40,000/kg

製造過程が複雑でコストがかかるため、EPA の価格は 28%を超えると価格が高騰し、45%品は 28%品の価格の約 6 倍となる。品質が 50%－70%であれば EPA をプレミアム価格で提供できる可能性がある。

魚油由来オメガ 3 製品の市場と比べると、藻類由来製品の市場への新規参入の可能性はかなり高い。藻類油（DHA）のグローバル市場では、事実上マーテック社（Martek）が独占している。グローバルに見ると競争は激しいが、魚油市場ほどではないとみられる。

グローバルニュートリショングループからのヒアリングによれば、日本における EPA（厳密には EPA 含有魚油）の消費量は、医薬品用原料で 350t、サプリメント用原料で 100t であり、医薬品原料では日本水産が圧倒的なシェアを有しているようである。

日本水産自身も藻類由来のオメガ 3 の試験製造を開始している。しかし、コスト的には魚油と比較すると高価格となる為、本格化する可能性は低いとみられる。

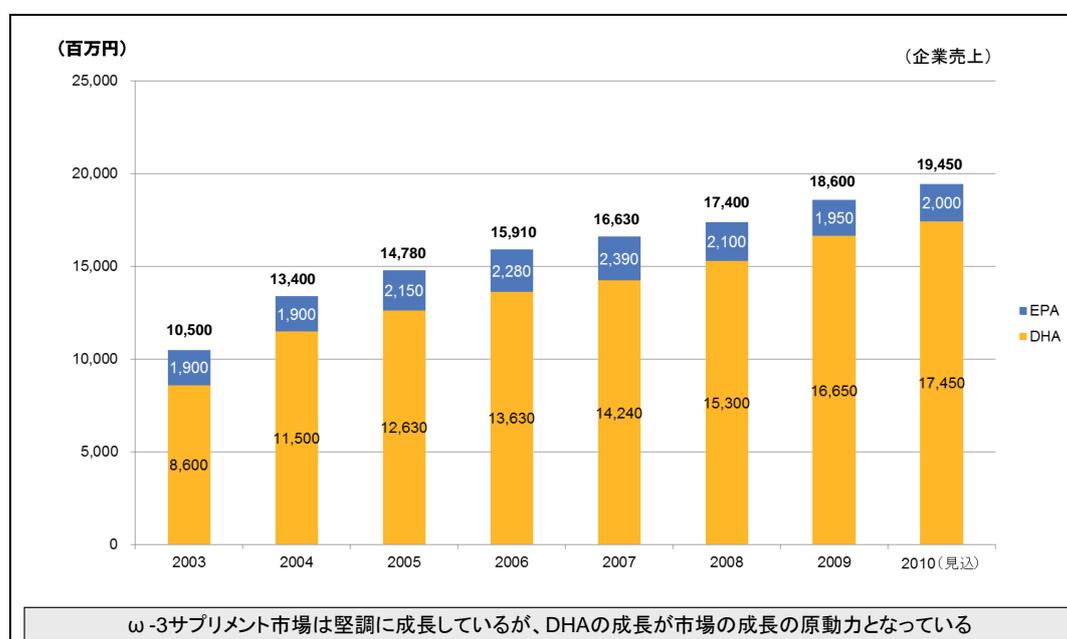


図 3-2 DHA/EPA サプリメント市場規模推移

単位百万円, 企業売上ベース					
ブランド	有効成分	チャネル	2009年売上	2010年売上	対前年比
DHA&EPA+セサミンE(サントリー)	DHA・EPA	通販	10,500	11,500	+9.5%
マリンオメガ(ニュースキングジャパン)	DHA	MLM	1,360	1,210	-11%
DHA(DHC)	DHA	通販、コンビニ	600	600	+3%
EPA3・D(日本シャクリー)	EPA	訪販	370	430	+16.2%
シーアルパ100(日水製薬)	EPA	通販	370	390	+5.4%
DHA(ファンケル)*	DHA	通販、コンビニ	400	380	-5.0%
ハーバーライフライン (ハーバーライフオブジャパン)	DHA	訪販	400	370	-7.7%
ブレイン&ハート(日本アムウェイ)	DHA	訪販	370	350	-5.4%
オメガ3EPA(ニューウェイズジャパン)	DHA	訪販	360	340	-5.6%
EPA(ファンケル)	EPA	通販、コンビニ	230	220	-4.3%
その他			3,640	3,660	+0.5%
計			18,600	19,450	+4.6%

Source: Fuji Keizai, GNG Analysis

*ファンケルは、ブランド合計ではなく、単体商品としての数字

図 3-3 DHA/EPA サプリメント主要ブランド

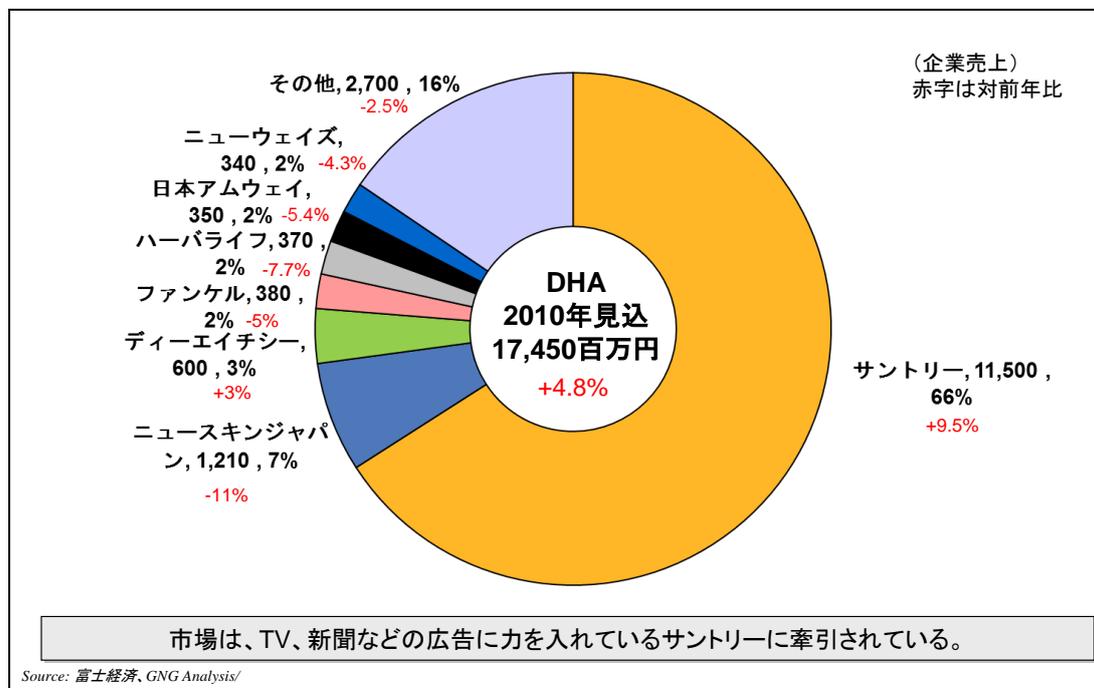


図 3-4 DHA サプリメント 推定市場占有率

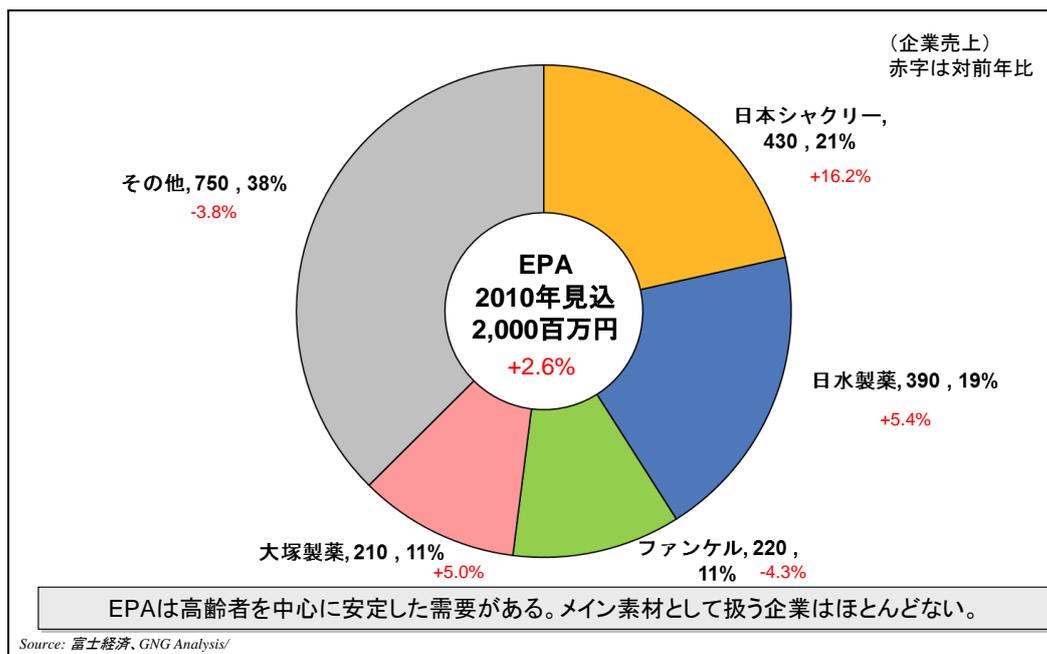


図 3-5 EPA サプリメント推定市場占有率

表 3-2 主要商品の DHA・EPA 含有量比率

企業名	サントリー	DHC		ファンケル		ネイチャー メイド	海の元気	
ブランド名	DHA&EPA +セサミンE	DHA	EPA	DHA	EPA	DHA	EPA	DHA
価格/月	5,755円	787円	997円	1,680円	1,260円	1,764円	4,410円	6,300円
1日目安量	4粒	3粒	3粒	5粒	5粒	3粒	4粒	4粒
DHA	300mg	330mg	72mg	297mg	149mg	432mg	144mg	368mg
EPA	100mg	43mg	318mg	39mg	315mg	69mg	332mg	40mg
ビタミンE	55mg	○	○	○	○	○	○	○
セサミン	10mg							

Source: GNG Research

成分量は、1日目安量あたり

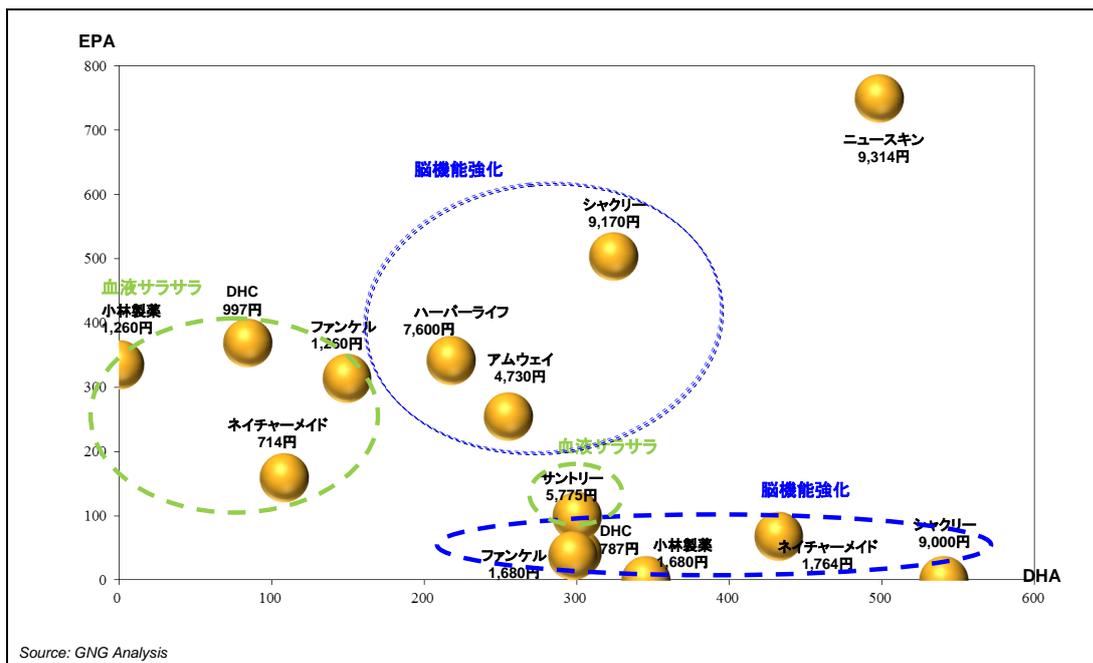


図 3-6 DHA/EPA1日当たり摂取量 (mg)

表 3-3 DHA/EPA 原料主要企業 (1)

企業名	主要製品名	形状	規格	価格/kg	コメント
マルハ	DHA 22	油液	22%	¥3,000	<ul style="list-style-type: none"> ■まぐろ由来DHA,いわし由来EPAの原料供給を行なっている。 ■年間実績約250t (うち自社消費40%、水産加工品への利用) ■トクホ認可ソーセージ「リサーラ」のメーカーで売上も順調 ■DHA22 はソーセージ等一般食品、22EX, HG などの無臭製品は育粉や乳酸菌飲料等、27%以上はサプリメント用 (46%,70%の高濃度品が伸びている) ■EPA-18はサプリメントや経腸栄養剤、無臭品は乳酸菌飲料等への利用 ■EPA供給量約100t (輸出も含む) ■サプリメント用途は7~8割を占める。
	DHA 22 EX, HG	油液	22% (無臭)	¥6,000	
	DHA 27	油液	27%	¥6,500	
	DHA 46A	油液	46%	¥10,000	
	DHA 50	油液	50%	¥17,000	
	DHA 70	油液	70%	¥27,000	
	DHA -WP	粉末	10%	¥8,000	
	EPA 18	油液	18%	¥2,500	
	EPA 28	油液	28%	¥5,000	
EPA 28SPE	油液	28% (無臭)	¥7,500		
クローダジャパン	インクロメガシリーズ DHA J27	油液	DHA 27%	¥3,500	<ul style="list-style-type: none"> ■独自のカラム吸着精製技術「スーパーファリン」を活用し、脱臭・脱色及び油脂の酸化原因となる遊離脂肪酸を除去し、優れた安定性を実現。 ■受託精製はユーザーのニーズにあわせて同社の国内工場を実施。
	インクロメガシリーズ DHA J46	油液	DHA 46%	¥7,500	
	インクロメガシリーズ Trio	油液	DHA23%, EPA10%, DPA4.5% (推定)	¥12,500	

Source: GNG Research

表 3-4 DHA/EPA 原料主要企業 (2)

企業名	主要製品名	形状	規格	価格/kg	コメント
タマ生化学	DHA 46	油液	DHA 46%, EPA4%	¥10,000	<ul style="list-style-type: none"> 独自の脱臭技術の開発によって、臭いのほとんど無い製品を実現 酵素処理技術の採用により、高濃度DHA (DHA70%含有)の生産が可能 マグロ由来DHA、いわし由来EPA DHAは46%、EPAは28%製品がサプリメントでの需要が中心。 EPA45は医薬品用途有り(価格の違いは酵素処理の有無)
	DHA 70	油液	DHA 70%, EPA3%	¥30,000	
	EPA 28	油液	EPA28%, DHA12%	¥6,000	
	EPA 45	油液	EPA45%, DHA15%	¥40,000	
日本油脂	サンオメガ DHA27	油液	DHA >27%, EPA>5%	¥8,500	<ul style="list-style-type: none"> 他社に先駆け育児粉乳向けにDHA供給を開始し、高いシェアを堅持(品質・安全性で高い評価を得ている) マグロ由来DHA、いわし由来EPA 臨床試験を積極的に実施し、科学的な裏付けを元に販売促進をする予定。 イクラ魚卵由来DHA結合リン脂質含有油脂、 睡眠改善効果を訴求
	サンオメガ DHA390	油液	DHA >46%, EPA>4%	¥15,000	
	サンオメガ EPA28	油液	EPA >28%, DHA>12%	¥8,000	
	サンオメガ PC-DHA	油液	DHA >20%、リン脂質>25%、トコフェロール、ビタミンK2、アスタキサンチン	¥40,000	

Source: GNG Research

表 3-5 DHA/EPA 原料主要企業 (3)

企業名	主要製品名	形状	規格	価格/kg	コメント
森村商事 ノルウェーEPAX 社の代理店	EPAX1050G	油液	DHA 50%、EPA 10%	¥9,000	<ul style="list-style-type: none"> EPAX社はサプリメント向けの高濃度品を取り扱う 独自の複式分子蒸留によって作られており、ほぼ無臭。 全ての製品は医薬品GMP準拠の品質管理体制で製造されており特許申請中の特殊技術で重金属除去が可能。 豊富な科学的データ&臨床データが揃うのが強み
	EPAX4510G	油液	DHA 10%、EPA 45%	¥10,000	
	EPAX6015G	油液	DHA15%、EPA 60%	NA 他2製品より高額	
ケニー	Super Refine DHA- 25	油液	DHA25%、EPA 5.5%	¥2,500	<ul style="list-style-type: none"> 高度な精製技術により魚臭を抑えたマグロ・カツオ由来のDHA DHA27は健食用途、一般加工食品向けのDHA-25、溶解性に優れた粉末DHA-12を展開。 コストパフォーマンスと安定供給が強み。
	Super Refine DHA 27	油液	DHA27%、EPA 6%	¥3,500	
	DHA Powder KS1	粉末	DHA12%、EPA 2.8%	¥8,000	
横関油脂工業	マグロオイル	油液	DHA 22%、EPA6%	NA	<ul style="list-style-type: none"> マグロ由来のDHA、EPAを年間200トン以上取り扱う。 ネギトロ用途で安定供給確保 魚油を同社ミニプラントで精製する受託依頼増加。精製・脱臭可能な高度精製技術に定評有り。

Source: GNG Research

表 3-6 DHA/EPA 原料主要企業 (4)

企業名	主要製品名	形状	規格	価格/kg	コメント
DSM ニュートリ ション・ジャパン	ROPUFA DHA	油液	DHA 22%、EPA 5% (Total Ω 3= >30%)	¥4000	
	ROPUFA DHA	粉末	DHA >10%	¥5000	
	ROPUFA EPA 30	油液	DHA 10%、EPA 15% (Total ω 3= >30%)	¥4,500~7,000	
	ROPUFA EPA 10	粉末	EPA >10%		
ハリマ食品	DHA-27	油液	27%	¥5,000	<ul style="list-style-type: none"> ■2007年4月に脱臭を強化したDHA製品(健食グレード)を市場に投下し、一般食品用の需要を掘り起こす意向 ■取扱量は800tで国内1位 ■飼料用から>95%の医療用高純度品まで幅広く取り扱う ■EPAは医薬品用途の取扱いが多い
	DHA-30	油液	30%	¥8,000	
	DHA-35	油液	35%	¥9,000	
	DHA-46	油液	46%	¥10,000	
	EPA-18	油液	18%	¥2,000	
	EPA-28	油液	28%	¥6,000	
	EPA-45	油液	45%	¥32,000	

Source: GNG Research

表 3-7 DHA/EPA 原料主要企業 (5)

企業名	主要製品名	形状	規格	価格/kg	コメント
日本水産 (ニッスイ)				NA	<ul style="list-style-type: none"> ■ファインケミカル事業の強化を図り、連結子会社の共和テクノスを吸収合併し、工場を新設予定 ■高付加価値のEPA・DHA素材で医学、機能性食品分野での市場を開拓する意向 ■持田製薬の医薬品エパデルへ原料(エチルエステル)を供給
ダイソー水産	PRISTINE DHA NEXT	油液	DHA 30%、EPA 7%	NA	<ul style="list-style-type: none"> ■クロマトカラム脱臭精製で高純度品を実現 ■ゼラチンマイクロシームレスカプセルに仕上げた。幼児向け用途 ■メバチマグロの眼窩脂肪を抽出し、高温をかけずに精製したDHA油は、トランス異性体(TFA)を含まない天然型脂肪酸 ■少ロットの原料供給から完成商品の提供まで承る
	PRISTINE DIAMONDS		DHA190~210mg/1g	NA	
	DHA 46%OIL	油液	DHA 46%	NA	
	DHA 27% OIL	油液	DHA 27%	NA	
	DHA 22% OIL	油液	DHA 22%	NA	
	EPA 28% OIL	油液	EPA 28%	NA	
	EPA 18% OIL	油液	EPA18%	NA	

Source: GNG Research

表 3-8 EPA 含有医薬品：持田製薬

				
Product Name	エパデールカプセル300	エパデールS 300	エパデールS 600	エパデールS 900
Property	カプセル	直径4mmの球形 (スティック包)	直径4mmの球形 (スティック包)	直径4mmの球形 (スティック包)
Channel	処方薬	処方薬	処方薬	処方薬
Health Benefit	高脂血症/血栓症	高脂血症/血栓症	高脂血症/血栓症	高脂血症/血栓症
Price / Volume		薬価 S300 = 56.3円		
RDA	capsules	capsules	capsules	capsules
EPA / capsule	EPA 300mg	EPA 300mg	EPA 600mg	EPA 900mg

現在、スイッチOTC化が進められており、EPA市場の活性化が期待されている

Source: GNG Research

3. 2 ヒアリング

(1) 株式会社マルハニチロ食品へのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：化成食品事業部 バイオ事業一課 鷹谷課長
化成食品事業部 バイオ事業一課 今村課長

EPAの原料では、脂肪酸の中でEPAの割合が70%の純度のものが、1キログラム1万円ほど、30%で1キログラム2,000円ほどである。

藻の形で送ってもらえれば、マルハニチロ側で精製はする。ワムシの餌としての利用はマルハニチロ水産が、関心があるかもしれない。

藻類由来のEPAには大変高い関心がある。サンプルを送ってもらえれば利用を検討する。

(2) 富士化学工業株式会社へのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：取締役 ライフサイエンス事業統括 宮川専務執行役員
ライフサイエンス事業部 LS営業部 井澤主任
ライフサイエンス事業部 LS技術部 用途開発課 北村課長
国内原薬・医薬営業部 東京営業課 香取課員

藻からEPAを抽出する技術は確立している。サプリメントの受託製造の会社があるので、そこに声をかければいくらでやってもらえるのかわかる。日本で最高の水準の超臨界の設備

をもっているのです。そこで技術協力を行うことは可能である。EPA 純度にもよるが、30 トン/kg というレベルであれば、受託加工賃はおそらく数百円程度でできるのではないかと。

(3) タマ生化学株式会社へのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：営業部 開発推進室 渡辺室長
営業部 営業課 中村主任

弊社では、ジェネリック医薬品、健康食品の原料を幅広く取り扱っている。EPA と DHA も売上がのびている。一日 1 グラムを摂取するというのを厚生労働省が推奨しているが、その影響による売上増加を実感している部分がある。

ただし、魚油ベースの EPA は匂いがネックとなる。脱臭はしているが、どうしても匂いがとれないためそれが消費の抑制につながっている可能性がある。EPA は、トリグリセリドの状態では流通している。流通量が多いのは、EPA 含有量 18%、45%である。薬はエステル化されたものが利用されている。

EPA の市場は海外が非常に大きい。EPA は取り合いになっている。素油を精製して 45%としている。その場合、1 キロ 40,000 円程度で取引されている。

現状はオメガ 3 の市場では、DHA の需要が高い。酵素処理（リパーゼ）している。マーテック社は、魚油よりも数倍の値段で DHA の原料を販売している。EPA は現在、港で加工している。魚をとった後、洋上の船の上で、魚油を絞り、ドラム缶に詰めたものを加工する。藻類由来の EPA は、ベジタリアンからのニーズや宗教的なニーズでも需要がある。

ナンノクロロプシス自体については、食経験がないが、規制する法律はないものの、市場の受け方は予想できない。藻類の EPA は何がよいのか、エビデンスがあることが重要である。また、機能性だけでなく、安全性をどう担保するかが非常に重要である。

日本人として食経験がなければ、毒性試験をすることが望ましい。

現状の EPA は魚油主体だが、現行から切り替えるには、海外市場で成功することも一つのパターンとして想定できる。海外では藻類由来の DHA がマーテック社によって市場が切り開かれているため受け入れ安いだらう。

一方で日本は、魚油に慣れ親しんでいるため、マーケティングは慎重に行う必要がある。藻類が CO₂ 削減に寄与するなど、環境に配慮している点はマーケティング上プラスであろう。

なお、現状では、脳や視神経細胞を強化する DHA が人気だが、血液凝固をおくらせる EPA は、今後は、循環器系の疾患に対して有効であるため高血圧や血栓に起因する疾病予防のために需要が増大すると予測される。

(4) 株式会社光洋商会へのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者： 確井顧問
新規事業部 山本部長

新規事業部 羽代課長

植物由来のサプリメントでは、カロテノイドや、アルファカロテン、アラキドン酸を商品化してきた。カロテノイドでは、ルテイン（植物の緑葉、黄色花の花弁や果実、卵黄など、自然界に広く分布するカロテノイドの一つ）を取り扱っている。アラキドン酸についてはカビから抽出している。それらの成分を食品の原料として取引をしているため、有望な成分を抽出すればそれを食品へ幅広く販売することは可能である。

(5) 日水製薬株式会社へのヒアリング

2010年11月実施

ヒアリング対象者：特販営業部 谷井部長

EPAを流通させるには酸化に対する対策が必要である。EPAは非常に酸化しやすい。乾燥させたサンプルについては酸化している可能性がある。粉末化した場合、どれだけ変化するかを調べる必要がある。

純度が高いほど酸化への対策が必要であり、適切なカプセル技術の研究開発が必要である。

(6) 株式会社グローバルニュートリショングループへのヒアリング

2010年12月実施

ヒアリング対象者：武田代表取締役

EPAは非常に伸びるが、藻類の市場はできていないのでこれからストーリーを作って市場を創造していくことが重要である。時間をかければ、おそらく非常に有望な市場になると推察される。EPAがもつ血行促進の効果がこれから注目されよう。水産資源の枯渇問題やベジタリアンの存在などで藻類由来を強調することは十分に可能である。サプリメントの他に食品に利用することが想定されるが、食品に利用すると販売価格が安くなるため、まず、最初にサプリメントを利用することを推奨する。

(7) ケミンジャパンへのヒアリング

2011年1月実施

ヒアリング対象者：栄養部門 研究開発部 押田テクニカルマネージャー

当社の得意分野であるルテインとEPAとオメガ3をセットし供与することで目、肌、脳にプラスの効用がある。アメリカでは、NIH(National Institutes of Health)が大規模な臨床実験を推進している。EPAは体内でDHAに転換する。生後40日以上であれば、EPAをとればDHAとして吸収される。藻由来は汚染のリスクがない。売り方は工夫する必要がある。NIHはオメガ3について、一日1グラムの摂取を推奨している。また、ナンノクロロプシスにはアミノ酸を多く含んでいるので、蛋白質代替として、サプリメントとして売り出せるかもしれない。たとえば毎日飲料として飲むような形で摂取することをうまくマーケティングできれば、高い値段で販売できる市場を創設できる可能性がある。

4. 家畜飼料への利用検討

家畜飼料への利用検討としては、脂質抽出後のアミノ酸等のタンパク質を配合飼料の原料に利用することが想定される。JA 畜産生産部によれば、配合飼料の原材料の市場規模は 2008 年において 2,440 万トン、その内 90%を海外からの穀物や大豆粕のような植物油粕の輸入に依存している。

その中で大豆粕は、アミノ酸を含む原料として家畜飼料の 14%程度（340 万トン）を占めているが、ナンノクロロプシスは大豆粕の中に含まれている飼料の有用成分を含んでいる。味の素の資料によれば、リジン、スレオニン、トリプトファン、メチオニン、といったアミノ酸が家畜の飼料としては不可欠であるが、とうもろこしには含まれておらず、大豆粕によって提供されている。下記の表に示すようにナンノクロロプシスは、それらを含んでおり、大豆粕代替としての利用が検討される。

表 3-9 ナンノクロロプシスのアミノ酸分布と家畜に必要なアミノ酸

100グラム当たり アミノ酸の分布	ナンノクロロプシス 含有アミノ酸	家畜に必要なアミノ酸	
		豚	鶏
	グラム		
アスパラギン酸	2.85		
アラニン	2.36		
アルギニン	2.01		
イソロイシン	1.31		
グリシン	1.90		
グルタミン酸	3.64		
スレオニン	1.61	○	○
セリン	1.45		
トリプトファン	0.55	○	
バリン	1.85		
ヒスチジン	0.64		
フェニルアラニン+ チロシン	2.65		
プロリン	5.56		
メチオン+ シスチン	0.94		○
リジン	2.14	○	○
ロイシン	2.75		
合計	34.21		

(出所) スメーブジャパン社資料等よりジェイ・フェニックス・リサーチ作成

大豆粕の値段は、国際的な取引市場における価格に影響される。最も影響力があるのが、米国の商品取引所の CBOT の価格である。下記が 2 月までの月次の大豆粕 (Soyabean Meal) の取引価格の時系列チャートである。長期的にみれば上昇傾向にあるが、2011 年 2 月末で 1 トン 356 ドル程度である。すなわち 1 キロで 30 円程度である。

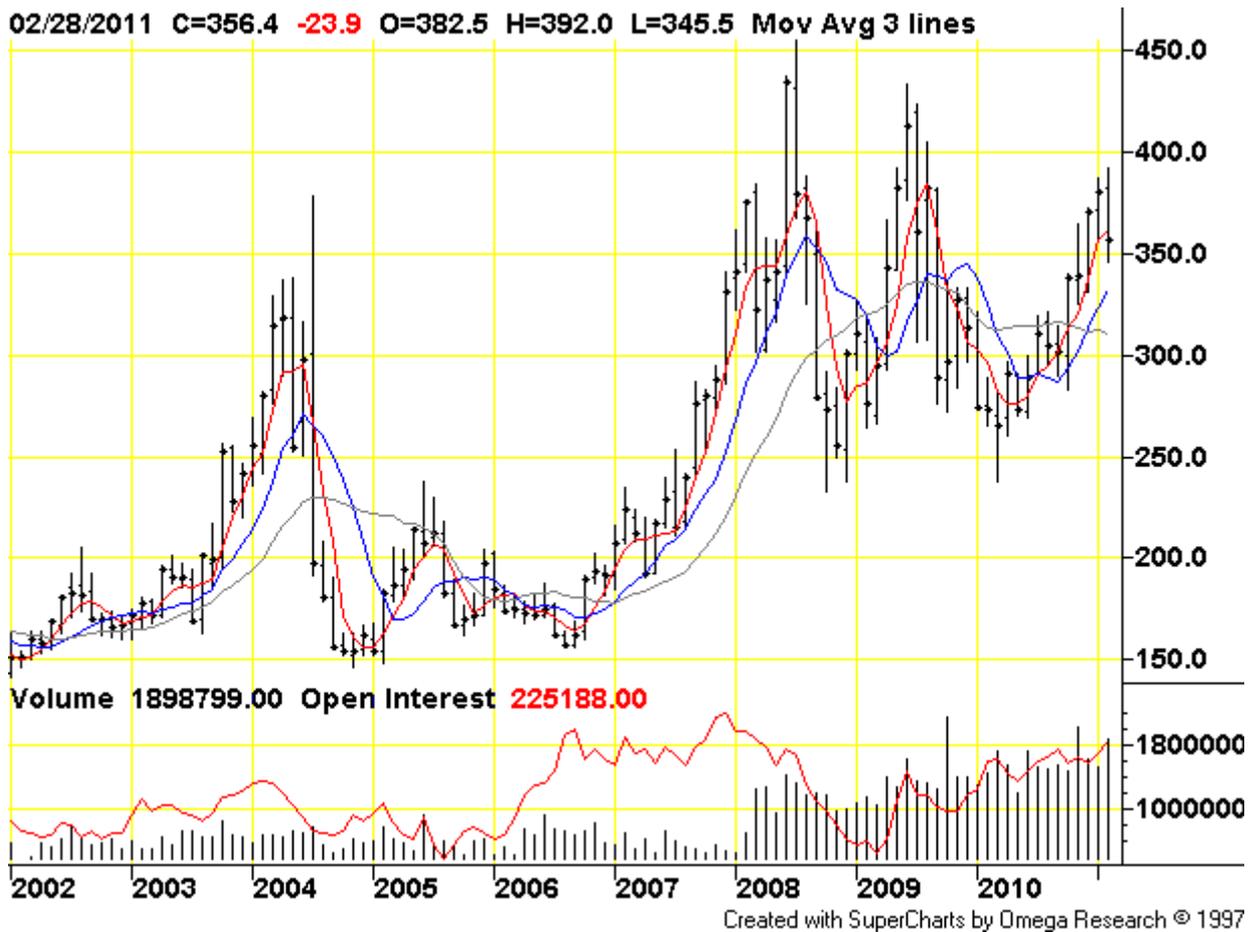


図 3-7 米国穀物取引所 CBOT における大豆粕（大豆ミール）のトン当たり価格動向

サプリメントなどの原料に比べれば非常に安価であり、かなりのコストダウンを実現しないと採算性を確保することは困難であるといえる。EPA を利用した後の残渣として廃棄することを回避するという意味で商品化を検討するという位置づけが想定される。

飼料取扱事業者として、伊藤忠飼料へヒアリングしたが、安定的に大量に生産することが取引の前提であるとのことであった。

大豆粕の国際価格動向からするとバイオエネルギーの商業化の時期をターゲットに残渣成分の商業化として飼料への商品化を検討することが事業計画の中で盛り込むべきといえよう。

5. バイオ燃料への利用検討

日本政府は地球温暖化対策の一環として、2010年に原油換算で50万kl（エタノール換算で約86万kl）のバイオ燃料の利用を目標に掲げており、そのうち21万klが石油連盟を通して自動車に利用されるとしている。輸入はバイオマス燃料供給有限事業組合を通して主にブラジルから輸入されている。環境省の実証実験でも、ブラジルのバイオエタノールが使用されている。国内生産では、バイオエタノール・ジャパン関西などが建築廃材や木くず・剪定枝等の木質バイオマスからエタノールを製造しているが、事業体は、不況による建築廃材の減少の影響で、原料確保が課題になっている。藻を大量に培養することができれば、バイオ燃料の原料を安定的に確保する点において日本社会にも非常に意味があるといえよう。

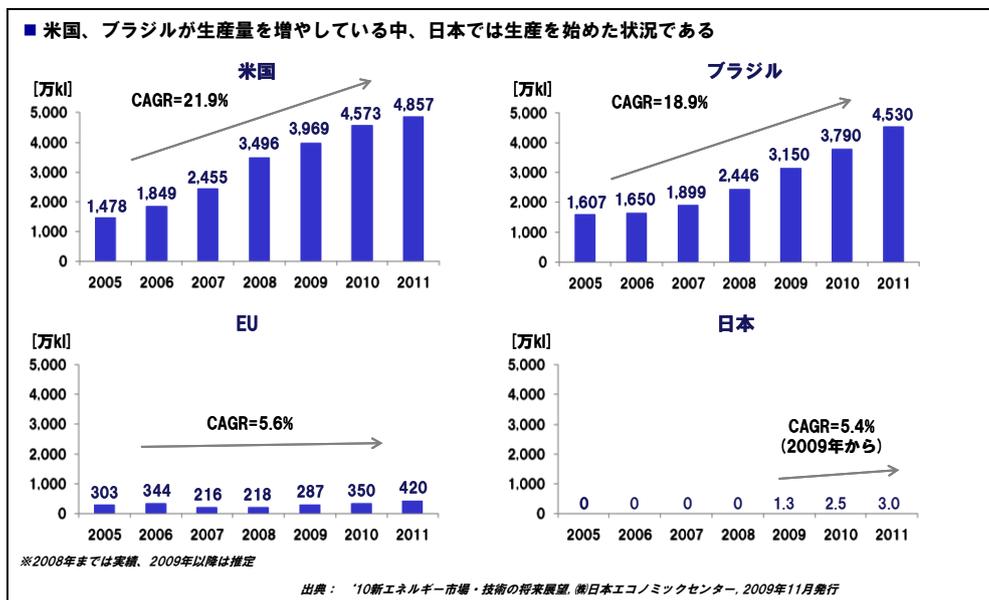


図 3-8 主要国におけるバイオエタノールの生産量予想

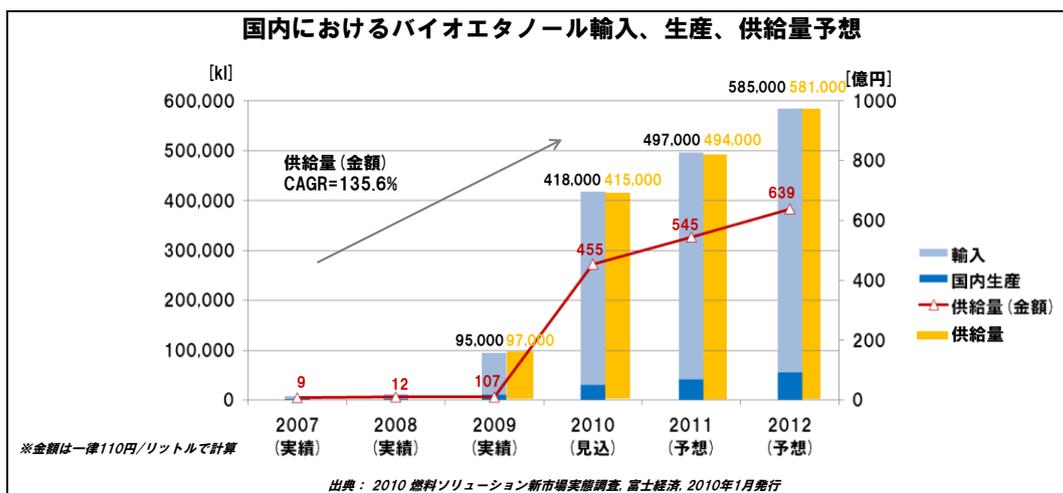


図 3-9 国内におけるバイオエタノール輸入、生産、供給量予想

バイオエネルギーとして、藻からエネルギー抽出について研究が盛んな米国においては、藻からのエネルギーがとうもろこしのエタノールを10年で代替するとの予想する関係者が半数にのぼっている。

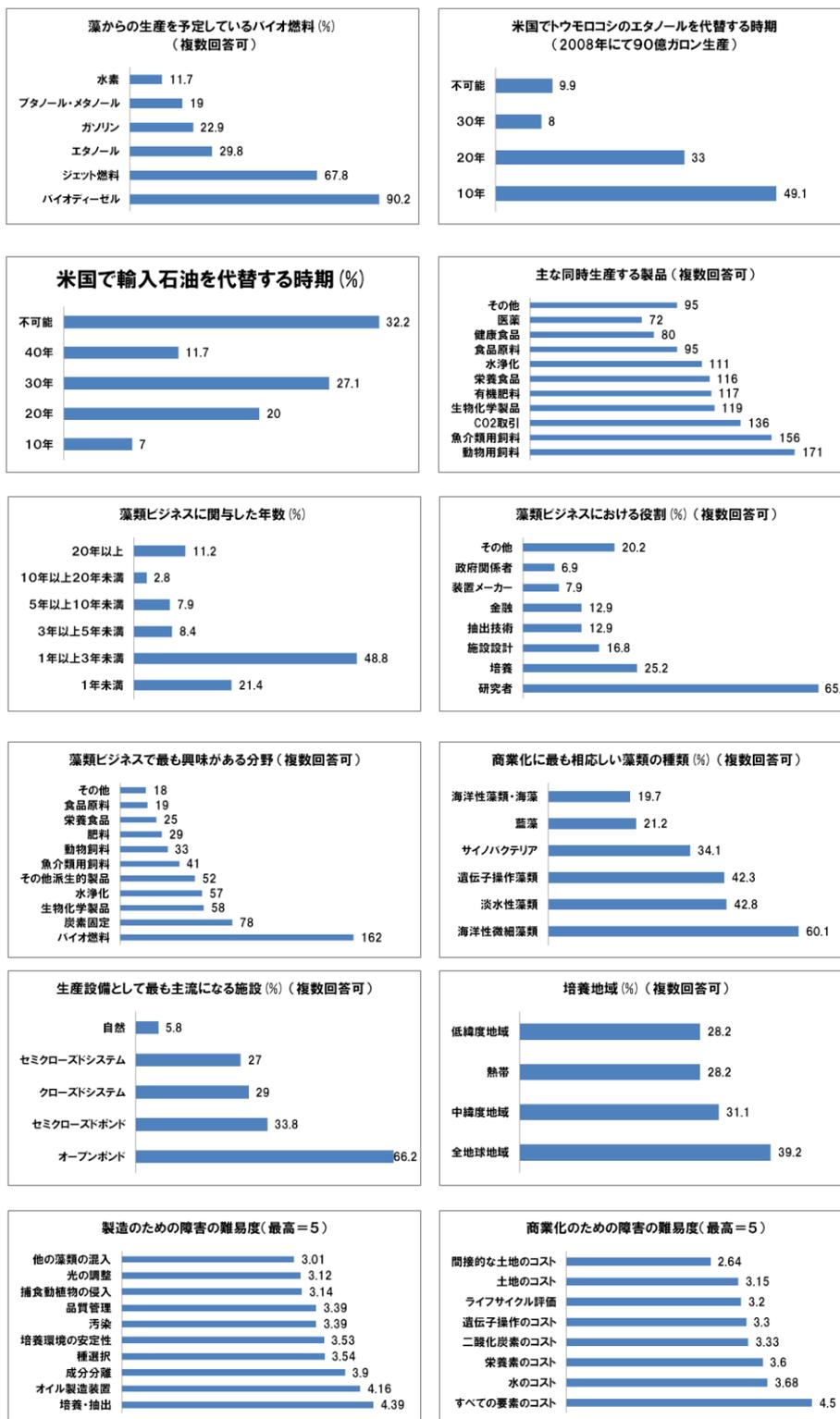


図 3-10 海外における藻類バイオマスビジネスの動向：ABO (Algae Biomass Organization) のアンケート調査

しかし、藻からエネルギーを抽出して商業化するためには、1 リットル 100 円といったレベルにまで生産コストを低下させることが必要である。また、石油代替という最終目標を達成するためには、大量の生産量が確保できることが見通せることが重要である。

米国の藻の培養企業で 1m²/日あたりの乾燥物換算のバイオマス量を示したのが以下である。この中で、ABO のアンケートでバイオ燃料のために最も有力な技術とされているオープンポンド型では、Sapphire 社が、23 グラム m²/日の生産性を達成している。スメーブジャパン社が技術提携しているイスラエルのシームビオティック社は、オープンポンドを利用してナンノクロロプシスを 20 グラム/m²/日の生産性を達成している。スメーブジャパン社が日本の環境でその生産性を達成することができれば、培養力においては世界の最先端に匹敵することになるため、バイオエネルギーの商品化においても有力なポジションに就くといえる。

表 3-10 米国有力企業の生産性の比較

	テクノロジー	一日当たり	
		バイオマス	バイオ燃料
		g/m ²	g/m ² 25%換算
Sapphire	オープンポンド	23.1	5.8
Solazyme (スイートソルガム利用し 微細藻で発酵)	密閉型従属栄養	6.1	1.5
Algenol	フォトバイオ リアクター	61.5	15.4

(出所) 各種データよりジェイ・フェニックス・リサーチ作成

仮に 20 グラム/m²/日の生産性で日本の石油消費量を全て賄おうとすると 11 万キロ m² になり、日本の国土の 1/3 程が必要になる。わが国の耕作放棄地は約 3,700 キロ m² (埼玉県にほぼ相当) なので、耕作放棄地を全て 20 グラム/m²/日の生産性でナンノクロロプシスの培養に利用すると、3,700÷11 万となり、約 3%の日本の石油消費量をまかなうことができる。3%とはいえ、耕作放棄地の活用とエネルギー自給化の促進の双方が達成できることになる。

表 3-11 日本の石油消費量と藻類バイオマス生産の比較

項目	数量	単位	前提
①日本の一日あたり石油消費量	440	万バレル	
	69,954	万リットル	
②①の微細藻バイオマス量換算	2,331,814	トン	30%が油脂
③必要な培養面積	116,591	Km ²	20 g/m ² /日
	58,295	Km ²	40 g/m ² /日
	38,864	Km ²	60 g/m ² /日
	23,318	Km ²	100 g/m ² /日
参考			
山手線の内側	65	Km ²	
琵琶湖	670	Km ²	
耕作放棄地	3,700	Km ²	
耕作面積	36,080	Km ²	
日本全土	377,923	Km ²	
日本可住面積	121,343	Km ²	
米国とうもろこし作付け面積	356,933	Km ²	

(出所) 各種データよりジェイフェニックスリサーチ作成。

培養力に加え、ABO のアンケートでも示されたように低コストの抽出技術を確認することも、ナンノクロロプシスを原料としてバイオ燃料を商品化する上では極めて重要である。

本事業共同体は、そのような技術として、マイクロ波環境化学株式会社がつマイクロ波を活用したプロセス及び、財団法人電力中央研究所が開発したジメチルエーテル (DME) を利用したプロセスに着目して意見を交換し、将来の大量抽出技術の確立に向けて議論をしている。

マイクロ波環境化学株式会社は、マイクロ波を活用した、高効率・低コストかつ省エネな革新的プロセスを開発している。この技術により、商業的に難しいとされていた遊離脂肪酸を多く含む油脂を”ワンポット”でエステル化・エステル交換することを可能とし、食用と競合する油脂だけではなく、非食用を含む多種多様な原料から各種脂肪酸エステルやバイオディーゼルを製造することが可能になるとされている。

詳細は同社のホームページからの抜粋で次ページに示している。

基盤技術 1: 反応系構築

マイクロ波環境化学は、マイクロ波吸収能を示す損失係数を測定し、マイクロ波照射下において最適な反応系を構築



計算化学とマイクロ波吸収能解析による反応系構築

基盤技術 2: ハイブリッド触媒

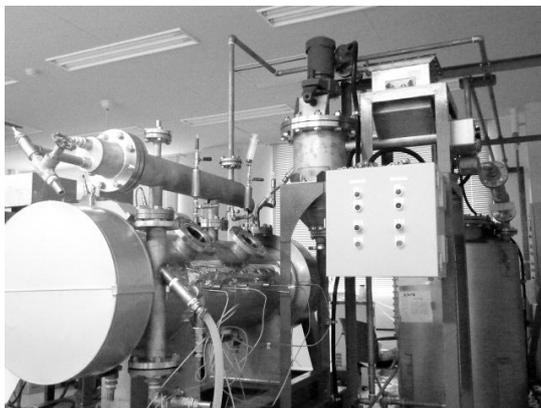
当社が開発したマイクロ波に適したハイブリッド触媒は、誘電損失係数・磁性損失係数の大きい固体触媒であり、マイクロ波照射条件下で非平衡局所加熱により触媒活性が高くなる革新的触媒



ハイブリッド触媒開発

基盤技術 3: 大規模完全フロー型マイクロ波リアクター

国内外でマイクロ波が、化学プロセスにおいて産業化されてこなかったのは、スケールアップが困難であったことが一因と言われています。当社は、3年前よりこの課題に取り組み、2009年の春に、世界初となる日産2～10トンレベルの完全フロー型マイクロ波リアクターの開発に成功



完全フロー型マイクロ波リアクター(日産2～10トン)

図 3-11 マイクロ波環境化学の技術概要 (1)

(出所) マイクロ波環境化学株式会社

プロセスイノベーション：マイクロ波環境化学が開発したプロセスは、マイクロ波を活用して、より効率的に短時間で反応場の活性化を行うと共に、選択的にマイクロ波と相互作用するハイブリッド触媒表面が反応場になり省エネルギーで反応を促進する特徴を持ち、反応の高効率化を可能とします。これにより、従来困難であったエステル化とエステル交換反応を、“ワンポット”で行うことのできる環境調和型の革新的プロセスを実現

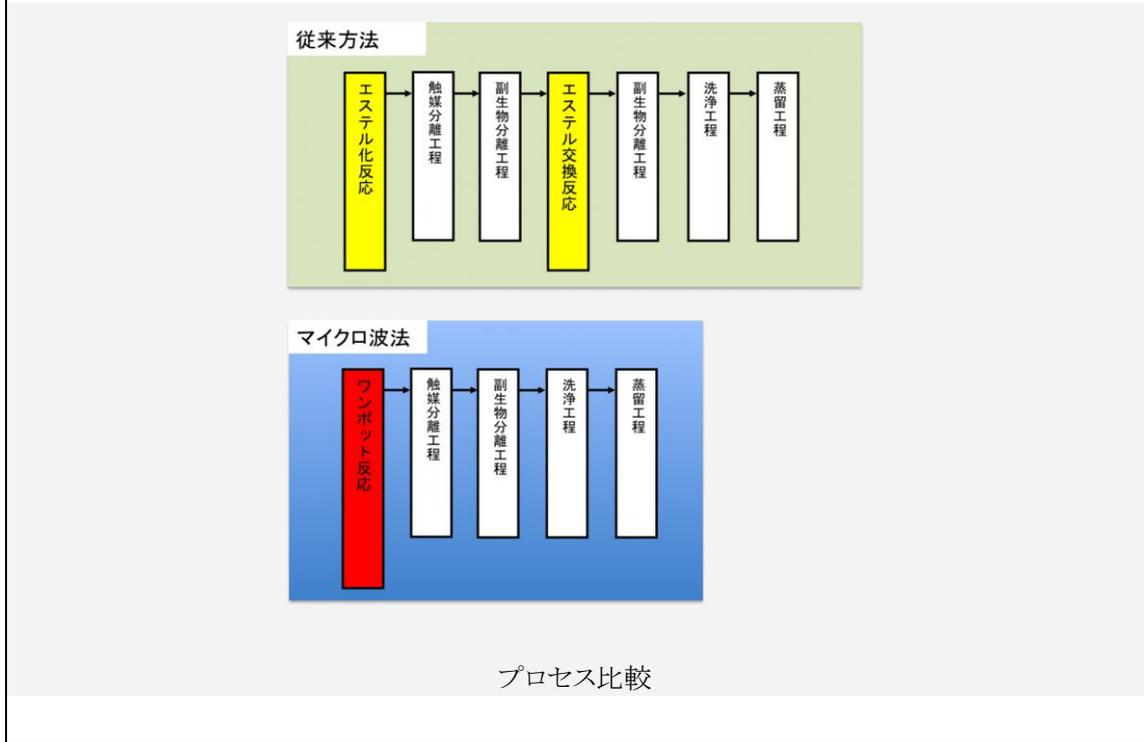


図 3-12 マイクロ波環境化学の技術概要 (2)

(出所) マイクロ波環境化学株式会社

電力中央研究所では、神田英輝主任研究員がリーダーとなるチームが、すでにアオコから「緑の原油」を従来の方法より約 70 倍高い効率で抽出することに成功している。

神田氏の出発点は石炭の脱水化に関する研究であり、その研究過程で褐炭や亜瀝青炭などの含水率の高い石炭に少量の油分が含まれていることを発見し、その技術を応用することで藻から原油成分を抽出する技術を開発した。含水率の高いものから微かな油分を効率的に抽出するために神田氏が着目したのが DME である。これは油分と完全混合し、水とも部分混合する。また、沸点がマイナス 24 度と低く、常温でも 5-8 気圧で液化する。しかも無毒で環境負荷物質を含まない。神田氏は、この DME を用いて、石炭や下水汚泥から常温で水分を分離することに成功した。さらに京都市の広沢池からアオコを収集し、DME を用いた油分の抽出実験を成功させている。

従来の方法ではまず、藻類などの微生物を乾燥させ、粉碎機や酸を用いて細胞壁を破壊する。次にヘキサンやアセトンなど有機溶剤で油分を抽出する。その後、加熱して有機溶剤を

蒸発させ、油分を回収する。DME による抽出法では乾燥などの手順を省略できるため、処理に必要なエネルギーを半分以下に抑えられるという。

以下が今後規模の拡大を前提としたコスト計算である。火力発電所などの二酸化炭素を利用し、廃液などからの窒素を利用することで二つの要素を無料化できれば、限界費用的には100円で1キロ当たりのバイオマスが生産できると推計できる。マイクロ波環境化学やDMEなどの技術を利用した低コストの抽出技術によって隔離・脱脂したあとの残渣が1キロ200円程度で利用することができれば、バイオ燃料の商業化の可能性が展望できるといえる。また、培養技術の改善により30グラム/m²/日程度に向上できれば、さらに商業化のハードルは低下する。大量培養は経験を積み重ねることが重要であることから、まずは1,000 m²から4,000m²程度の規模から培養を行い、将来的な大量培養に向けて技術を蓄積すると同時に、低コストの抽出技術の商業化を確立していくことで、バイオ燃料の商品化が長期的には可能になると考えられる。

表 3-12 コスト計算と藻類バイオマスの商業化の可能性

要素	藻類バイオマス1キロあたり利用量	単位	単価(円)	費用(円)
二酸化炭素	2	キロ	70	140
窒素	0.33	キロ	130	43
りん	0.033	キロ	80	3
電気代	4	キロワット	20	80
水道代	0.15	m	180	27
変動費				293
人件費10名	4000	万円		
設備投資	50	億円		
固定費	25,000	万円	20年償却	
	29,000	万円		
1キロm ² 生産量	20	g/m ² /日	7,300,000	kg
	40	g/m ² /日	14,600,000	kg
	60	g/m ² /日	21,900,000	kg
	100	g/m ² /日	36,500,000	kg
1キロm ² 固定費	20	g/m ² /日	40	円
藻類バイオマス	40	g/m ² /日	20	円
1キロあたり	60	g/m ² /日	13	円
	100	g/m ² /日	8	円
藻類バイオマス	20	g/m ² /日	332	円
1キロあたり	40	g/m ² /日	312	円
生産コスト(変動費+固定費)	60	g/m ² /日	306	円
	100	g/m ² /日	300	円
藻類バイオマス	20	g/m ² /日	192	円
1キロあたり	40	g/m ² /日	172	円
生産コスト(変動費+固定費)	60	g/m ² /日	166	円
(二酸化炭素無料)	100	g/m ² /日	160	円
藻類バイオマス	20	g/m ² /日	149	円
1キロあたり	40	g/m ² /日	130	円
生産コスト(変動費+固定費)	60	g/m ² /日	123	円
(二酸化炭素&窒素無料)	100	g/m ² /日	118	円
一日あたり生産量	20	g/m ² /日	20	トン
	40	g/m ² /日	40	トン
	60	g/m ² /日	60	トン
	100	g/m ² /日	100	トン

(出所) スメーブジャパン社のコスト計算の前提をもとにジェイ・フェニックス・リサーチ作成

6. まとめと今後の商品化戦略について

2011年3月11日に起こった東日本大震災は、日本経済の景気に大きくマイナスとなるだけでなく、福島原子力発電所における併発事故で原子力発電における安全性について根本的な見直しが生じたことから、国のエネルギー政策、特に原子力政策においても大きな転換を迫られるものと想定される。

代替エネルギーの活用についてこれまで以上に注目があつまると予測され、微細藻を利用したエネルギー産業についても、今後さらに世界的に注目が集まるものと考えられる。

これまでの分析から、微細藻でリーディング企業となるためには、3つの要素が必要であると考えている。第一が生産性の高い大規模培養技術の確立、第二が低コストの抽出技術の確立、第三が高付加価値製品の早期商業化である。第一と第二があれば基本的にはバイオエネルギー産業で成功することが可能であるが、1リットル100円台というような低価格でバイオ燃料を商業化することは非常に時間がかかるため、事業的には、第三の要素が不可欠であると考えられる。

ナンノクロロプシスを軸とする事業については、本委託研究による商品化・市場調査において短期的には第三の要素を満たすことが可能であり、また長期的にも第一、第二の要素を満たすための方向性があきらかになったと言える。

すなわち、今後1~2年でオメガ3市場と養殖用種苗餌料の市場で収益化を達成し、そのなかで更なる大量培養技術を確立し、同時に大量生産による藻を利用して、低コストの抽出技術を5年から10年程度で確立していく、という戦略である。大量による藻をバイオ燃料へ転換する技術を開発するためには、まずは藻の大量培養技術を確立することが重要だが、その技術を確立するまでの事業コストは、高付加価値製品の事業化で賄うことが、事業モデルの安定性の確立において不可欠な戦略である。

これらの戦略を遂行し実現することができれば、耕作放棄地の利用、農業の活性化、エネルギー自給率向上、そしてCO₂の削減と、様々な面で日本経済に寄与することができる。また、藻類ビジネスにおいて、養殖用種苗、食品、エネルギーと非常に幅広い分野で世界をリードできる産業を日本で育成していくことにつながり、新たな日本経済の成長産業となる可能性を秘めている。その現実性が本委託研究により一層明確になり、今後10年程度の事業戦略展開ロードマップが描けたと言える。

第4章 事業化可能性調査

1. 海藻事業ニーズの把握

海藻事業のニーズを把握するために、宮城県周辺の農協、漁協を対象にアンケート調査を実施した。調査対象は農協 6 団体、漁協 5 団体、農事組合法人 38 団体の計 49 団体に発送した。アンケートの調査票を表 4-1、表 4-2 に示す。

表 4-1 アンケート調査票（1 / 2）

アンケート調査票			
問1. 貴団体の概要についてお教えてください。			
団体名		会員数	名
連絡先	電話	()	主な産物
	FAX	()	
	E-mail	@	
担当者名			
問 2. ～問 4. は、農協など、 耕作放棄地の状況を把握されている団体への質問です。			
問2. 貴団体が保有・管轄する圃場における耕作放棄地の有無についてお答え下さい。【〇は1つ】			
1. 一定規模のまとまったかたちで存在する。 2. 小規模のものが散在するかたちで存在する。 3. 耕作放棄地は存在しない（または、わずかしかが存在しない。） 4. わからない。			
問3. 問 2. で「1」または「2」と答えた方へお聞きします。			
耕作放棄地の大きさ（面積）についてお答え下さい。【〇は1つ】			
1. 1ヘクタール以上の耕作放棄地が多数存在する。 2. 1ヘクタール未満のものが多数だが、1ヘクタール以上のものもある。 3. 1ヘクタール未満のものが多数存在する。 4. わからない。			
問4. 問 2. で「1」、「2」及び「3」と答えた方へお聞きします。			
耕作放棄地の状態についてお答え下さい。【下表に数値を記入】			
		耕作放棄地の 全体に占める割合	
1. 草木が生い茂っており、再び活用するには、重機などで整地する必要がある。		%	} おおよその割合 で結構です。 合計が100%に なるよう数値を お書き下さい。
2. 重機を必要とする程ではないが、草木などが生い茂っている。		%	
3. 最近まで耕作されていたため、すぐに活用できる状態にある。		%	
4. わからない。		%	
1			

表 4-2 アンケート調査票（2 / 2）

問 5. と問 6. は、全ての団体への質問です。

現在、スメープジャパン株式会社では、
**耕作放棄地において「藻を培養」し、魚介類や家畜の餌、健康食品、
 バイオ燃料(石油など化石燃料の代わりとなる燃料)の原料を生産する仕組み**
 の開発を行っています。【農林水産省補助事業】



微細藻培養システム

耕作放棄地

イスラエルにおける
微細藻ファーム
(培養槽面積: 1,000 m²)

- ・魚介類餌原料
- ・健康食品原料
→EPA(エイコサペンタエン酸)
- ・家畜飼料原料
- ・バイオ燃料原料

高血圧・脳梗塞予防
などの効果があり、
DHAと同様サプリメント
としての利用が可能

問5. 上記の「藻の培養システム(微細藻培養システム)」についてのご関心・ご感想について、お聞かせ下さい。【〇は1つ】

1. 非常に興味があり、詳しい説明を聞いてみたい。
2. まずは、説明を聞いてみたい。
3. 特に関心はない。
4. わからない。
5. その他

記入欄

**問6. 問 5. で「1」または「2」と答えた方へお聞きします。
 貴団体の耕作放棄地に「藻の培養システム」を導入するとした場合、どのようなメリットを期待しますか。【〇はいくつでも】**

1. 事業用地（耕作放棄地）の売却または賃貸による収益
2. 事業そのものの収益（事業主体として参加）
3. 雇用機会の確保（冬季間など）
4. “地元産”の農業資材の確保（家畜飼料やバイオ燃料など資材を購入）
5. 視察者等の来訪による観光面等の収益
6. その他

記入欄

質問は以上です。ご協力ありがとうございました。

2

アンケート結果については調査票の回収期間中に東日本大震災が発生し、残念ながら回答結果を得ることができなかった。シンポジウムの参加者の反応からみてかなり関心の高い結果が得られたものと推察される。

2. 耕作放棄地対象エリアの選定

培養事業対象地として、フェーズ1とフェーズ2についてエリアを選定した。

表 4-3 培養事業対象地のエリア

	フェーズ1	フェーズ2
実施内容	海水の取排水が容易な地域	海水を循環利用し、適宜海水をローリーで補充
実施時期	直近から対応可能（H23年度～）	海水循環利用システムが完成した時期（概ね5年以内）
沿岸部からの距離	海水の取排水が容易な距離で、沿岸部から約2kmまでの距離	沿岸部から45kmまでの距離（宮城県内の耕作放棄地を概ねカバー）

海水循環利用には、コンタミネーションによる影響、連続培養による海水養分変化など、屋外連続培養による実証試験が必要であり、今後循環利用システムを確立していく必要がある。耕作放棄地の対象エリアとしては、第1フェーズとして、海水の取水・排水が可能な沿岸部の耕作放棄地を対象とし、海水循環利用システムの確立する第2フェーズでより内陸部の耕作放棄地を対象とすることが現実的であるとの結論を得た。

(1) 第2フェーズの海水の運搬について

弊社プラントを休耕田に建設するにあたっての技術的問題点は、海水の確保と排水である。

池面積 4,000m²（敷地面積約 1ha、=1町）の弊社予定プラントを例に考える。全体の半分の海水が循環利用できると想定した場合、1日に1m³（=1キロリットル）の海水交換が必要となる。以下、海水および排水を積載し、海までタンクローリーで往復した場合と、農業用水に加塩して使用し、脱塩処理して排水した場合について考察する。

1) タンクローリー（16KL車）による海水および排水の運搬

タンクローリーの走行可能距離は1日120kmまでである。休耕田から最短距離の海岸での採排水が可能と考え、海岸から60kmまでの休耕田が本事業の対象となる。積み込みおよび積み下ろしには約1時間かかる。タンクローリーへの積載可能容量は16キロリットルであるが、海水は比重が高いため、最大積載重量の制限で14キロリットル程度となる。

表 4-4 タンクローリー費用¹⁹

基本料金	24,000 円/日
走行距離料金	220-250 円/km
タンク内洗浄料金	60,000 円/16kl 容器

※基本料金はドライバー、車載ポンプによる積み込み積み下ろし含む。

¹⁹株式会社サンラックス（タンクローリーによる運搬関連データ）

なお、第2フェーズにおける海水運搬に係るコストを次表に示す。次節の事業収支計算により、経営収支上、海水運搬にかけてもよいコストから移動可能な距離を試算した。海水運搬にかけられるコストはEPA販売（培養槽面積4,000㎡）の収入の30%を見込むことを想定した。また、年1回海水の全量交換を実施するものと仮定しており、初期段階の海水の運搬コストもこの経費に含まれるものとなる。

その結果、沿岸部から45kmまでは搬送可能である。これは概ね、宮城県内の主な水田地帯をカバーすることができる。

表 4-5 第2フェーズにおけるタンクローリーによる海水運搬コスト

海水運搬にかけられる経費		11,925 千円/年	年間収支計算の収入(EPA販売)の30%を計上
必要な運搬海水量	補充海水量	1 m ³ /日	「第1章 2.海水循環利用システムの検討」参照
	年間稼働日	360 日	
	年間補充海水量	360 m ³ /年	必要海水量×年間稼働日
	全量海水交換回数	1 回/年	年1回全量交換と仮定
	全量交換海水量	1,200 m ³ /年	
	年間必要海水量	1,560 m ³ /年	年間補充海水量+全量交換海水量
タンクローリー	積載容量	14 kL/台	
	往復数	112 回/年	年間必要海水量÷積載容量
	基本料金	24,000 円/台日	タンクローリー運搬関連データより
	年間運搬台数	112 台日	
	年間基本料金	2,688 千円/年	基本料金×年間運搬台数
	タンク内洗浄料金	60,000 円/16kL容器	タンクローリー運搬関連データより
	年間洗浄回数	112 回/年	
	年間洗浄料金	6,720 千円/年	タンク内洗浄料金×年間洗浄回数
	走行距離料金にかけられる経費	2,517 千円/年	海水運搬にかけられる経費-基本料金-洗浄料金
	走行距離料金	250 円/km	タンクローリー運搬関連データより
	年間走行距離	10,068 km/年	走行距離料金にかけられる経費÷走行距離料金
片道距離	45 km	年間走行距離÷往復数÷2	

第1フェーズに相当する沿岸部2km地点の大部分は、3月11日に発生した東日本大震災の津波の被災地域と合致する。この地域での早急な復興が望まれるところであるが、地盤沈下により農地が陥没したり、塩害により農地へ復元するには相当の時間を要することもあり、土地利用の一つのあり方として、微細藻培養事業を新たな復興計画に位置付けることも考えられる。



図 4-1 対象エリア

3. 事業計画の立案

(1) 海水循環システムの運営

石巻市清崎で計画されている、水深 30cm、面積 4,000m² の養殖池で閉鎖型の循環培養システムにより生産を行った場合に想定される年間の収穫量と、それによる生産コストの試算結果を以下に示す。

シームバイオテック社が実現しているナンノクロプシスの培養密度は 1.5×10⁸cells/ml である。これは藻の乾燥重量にして 30g/m²/day 程度に相当し、ここから 1 日ごとに全容量の 1/10 に相当する 120t を収穫のために回収すると仮定すると、年間生産量（360 日稼働ベース）は乾燥重量で約 43t になると計算される。

培養面積 : 4,000m² (敷地 10,000ha)
 年間生産量 : 43t/年 (藻体ベース)

表 4-6 培養事業の施設規模

施設規模	培養槽面積	m ²	4,000	40,000	
	生産性	g/m ² /day	30	30	イスラエル等の実績より目標数値
	年間稼働日	day	360	360	
	年間生産量	t/年	43	432	
	プール水深	m	0.3	0.3	
	養殖プール総容積	m ³	1,200	12,000	

(2) 製造フロー

製造フローを図 4-2 に示す。培養した湿藻体は、ワムシの餌料向けとして出荷し、残りは乾燥して乾燥藻体を得る。乾燥藻体はサプリメント原料として一部出荷する。また藻体から濃縮 EPA を得るために細胞壁破砕し、溶媒により油を抽出する。得られた油を酵素処理（リパーゼ法）して EPA を 45%まで濃縮してサプリメント原料として出荷する。EPA 製造については委託処理を想定している。

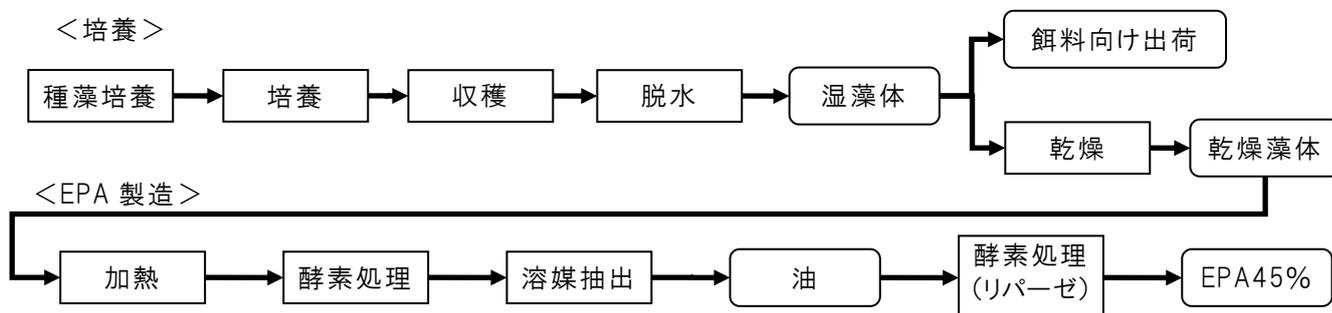


図 4-2 微細藻培養事業の製造フロー

(3) 対象地域

対象地域はフェーズ 1 を採用し、沿岸部から 2km 以内の耕作放棄地等を対象とする。

4. 事業収支の検討

培養事業の事業収支計画を表 4-7、表 4-8 に示す。培養槽面積について 4,000m² と 40,000m² の 2 種類について検討したが、いずれも事業収支としてプラスになる結果となっている。また、藻体をワムシ餌料およびサプリメント原料として出荷する場合と、EPA45% を製造する方法の 2 つを試算したが、いずれも、事業収支としてプラスとなり、事業性が高いことが伺える。

表 4-7 培養事業の事業収支結果（必要コスト）

施設規模	培養槽面積	m ²	4,000	40,000	
	生産性	g/m ² /day	30	30	イスラエル等の実績より目標数値
	年間稼働日	day	360	360	
	年間生産量	t/年	43	432	
	プール水深	m	0.3	0.3	
	養殖プール総容積	m ³	1,200	12,000	
減価償却費	培養槽建設費	千円	200,000	1,002,374	ライセンス料込
	償却年数	年	20	20	
	減価償却費	千円/年	10,000	50,119	
ランニングコスト	メンテナンス	千円/年	9,000	45,107	
	総工費に対する割合	%	4.5%	4.5%	
	二酸化炭素	千円/年	6,048	60,480	
	必要CO ₂ 量	t/年	86	864	生産量×2倍
	単価	円/kg	70	70	日本ガシスより
	窒素	千円/年	1,872	18,720	
	単位N ₂ 必要量	kg/m ³ ・月	1.0	1.0	1か月当たり水槽1m ³ に必要な窒素量
	必要N ₂ 量	kg/年	14,400	144,000	養殖プール総容積×単位N ₂ 必要量×12カ月
	単価	円/kg	130.0	130.0	
	リン	千円/年	864	4,330	
	単位P必要量	kg/m ³ ・月	0.1	0.1	1か月当たり水槽1m ³ に必要なP量
	必要P量	kg/年	10,800	54,128	養殖プール総容積×単位P必要量×12カ月
	単価	円/kg	80.0	80.0	
	電気	千円/年	2,400	24,000	
	単位必要電力量	kWh/m ² ・月	2.5	2.5	
	必要電力量	kWh/年	120,000.0	1,200,000.0	
	単価	円/kWh	20	20	
	水道	千円/年	778	7,776	
	単位必要水量	m ³ /m ² ・日	0.003	0.003	
	必要水量	m ³ /年	4,320	43,200	
	単価	円/m ³	180	180	
小計	千円/年	20,962	160,413		
運転人件費	バイオロジスト	千円/年	4,200	4,200	
	単価	千円/月	350	350	
	人数	人	1	1	
	エンジニア	千円/年	3,600	7,200	
	単価	千円/月	300	300	
	人数	人	1	2	
	雑役者	千円/年	9,000	18,000	
	単価	千円/月	250	250	
	人数	人	3	6	
	現場作業員	千円/年	13,200	26,400	
	単価	千円/月	220	220	
人数	人	5	10		
小計	千円/年	30,000	55,800		
培養コスト	千円/年	60,962	266,332		
本社費・ロイヤリティー	千円/年	21,600	216,000	500円/製品kg	
藻体1kg当たりの培養コスト	円/kg	1,911	1,117		

表 4-8 培養事業の事業収支結果（収支結果）

<ワムシ餌料/サプリメント原料の販売>

施設規模	培養槽面積	m ²	4,000	40,000	
支出	培養コスト	千円/年	60,962	266,332	
	本社費・ロイヤリティー	千円/年	21,600	216,000	
	合計	千円/年	82,562	482,332	* サプリメント原料の乾燥粉末化費用が別途必要
収入	販売額	千円/年	216,000	2,160,000	
	販売単価	円/kg	5,000	5,000	
	合計		216,000	2,160,000	
収支		千円/年	133,438	1,677,668	

<EPA45%の製造>

施設規模	培養槽面積	m ²	4,000	40,000	
支出	精製コスト	千円/年	5,301	53,006	
	精製コスト	円/kg	2,000	2,000	EPA45製品1kgを精製するのに必要なコスト
	培養コスト	千円/年	60,962	266,332	
	本社費・ロイヤリティー	千円/年	21,600	216,000	
	合計		87,862	535,338	
収入	EPA45販売単価	円/kg	40,000	40,000	
	EPA45精製原単位	kg/製品kg	16.3	16.3	藻体のEPA含有量から算出
	EPA45販売数量	kg/年	2,650	26,503	
	収入	千円/年	106,012	1,060,123	
収支		千円/年	18,150	524,785	

5. 事業主体の検討

(1) 農家主体の参画

EPA45%製品の生産販売ベースで見ると、面積 10a 当たりの収入は 1,815 千円/10a を見込むことができる(集荷販売等経費を除く)。一方、平成 18 年度の品目別農業所得の推移では、米作(0.5-1ha)での農業所得は 111 千円/10a となっており²⁰、培養事業による生産性の高さが伺われる。

表 4-9 培養事業による土地生産性(培養槽 4,000m²)

培養面積	4,000 m ²
年間収益	18,150 千円/年
必要用地面積	10,000 m ²
10a当たりの収入	1,815 千円/10a

[1a = 100m²]

(2) 漁協からのアプローチ

ワムシの餌料としての事業性が高いことから、漁協や漁家の新たな事業として展開することも考えられる。漁協が事業主体になる場合、海水の取排水による漁業補償などの協議も容易になることが考えられる。

(3) 6次産業化からのアプローチ

EPA等のサプリメントの原料を製造することにより、医薬・食品メーカーなどの参入が考えられる。ナンノクロロプシスにはEPAの他にも商品化に有用な脂肪酸が含まれていることから、新たな製品開発とあわせて、これらのメーカーの参画が考えられる。

²⁰ 食料・農業・農村基本計画(2010年3月閣議決定), 大成出版社, 2010.

6. 事業化計画の作成

6.1 事業化する上での制約条件の整理

(1) 農地法

農地を転用した微細藻培養事業は、これまで国内で実施されていない新たな事業であるため、農地の位置付けが不明確になる恐れがある。本事業では、餌料及び高機能食材を製造することから、農業生産の一環として取り扱うことは可能であると考えられるが、培養法に土を使わず、培養槽による培養を行うため、農業形態としては水耕栽培に近いものと考えられる。

農地法では、耕作者主義にもとづき、農業を行うものに限って農地の利用（耕作）ができることとし、それ以外の者は例外を除き農地を利用することができないことになっている。なお、ハウス（コンクリート舗装等の場合）を利用した水耕栽培での軟弱野菜栽培や畜舎での畜産業など、農地を利用しない場合は、農地法の要件を満たす必要はないこととなっている。したがって、事業を進める上で、農業委員会等へ協議の上、農地の使用を確認することが必要である。

また、企業が培養事業に参画する場合、農地を使用するに当たり、農業生産法人等の要件を満たすことが求められることが考えられる。

このため、農業に参入を希望する企業であって、農地の利用が必要な場合は、

- ①農地法で規定する農業生産法人の要件を満たしていること
- ②農地権利取得要件を満たすこと

が必要となるため、事前に農地の利用について、農業委員会等に確認することが必要となる。

(2) 海水の取排水による漁業補償

本培養事業は、海域に生息するナンノクロブシスを培養するため、汚水を発生させることはないと考えられるが、フェーズ1において海水の取排水を前提とする事業を展開する場合、漁業組合等の漁業関係者との海水の取排水に関する協議が必要となる。

事業主体として漁業組合が参画する場合、海水の取排水について合意形成を円滑に進めることが期待できる。

(3) 水質汚濁防止法

フェーズ2で内陸部に培養槽を設置し、コンタミネーション等の影響で一時的に海水を河川に放流する場合、現行の水質規制では、塩濃度の排出規制はない。ただし、塩類の放流により水生生物や農作物への影響が懸念されることから、設置する自治体の水質規制担当部署に事前協議を行い、放流の有無について確認しておく必要がある。

第5章 事業参画者を拡大するためのシンポジウムの開催

1. 目的と経過

微細藻培養事業に関する農業関係者への関心を高めることを目的として、農業関係者や事業に関心のある企業を参集し、平成23年3月11日に仙台市にて微細藻培養に関するシンポジウムを行った。当日は70人ほどが集まり、本事業に対する人々の関心の高さが窺われた。東日本大震災の影響によりシンポジウムは途中で中断されたが、参加者に対してはシンポジウム講演資料等が配布され、その内容についても了知されているため、シンポジウムで企図した目的は達成されている。

2. シンポジウム日程

(1) 日程

平成23年3月11日（金）

(2) 場所

パレス宮城野 はぎの間
仙台市青葉区上杉3丁目3番1号

(3) プログラム

1) 主催者あいさつ（本事業の説明）（13:30～）

挨拶：スメーブジャパン株式会社 代表取締役 原 芳道

2) 基調講演（13:50～）

「マリン・バイオマスタウン構想について」

講師：石巻市長 亀山 紘

3) 講演（14:35～）

「養殖種苗・オメガ3・バイオ燃料の市場からみた微細藻培養の事業化の意義について」

講師：ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社 代表取締役 宮下 修

4) 講演（15:25～）

テーマ：「微細藻ナンノクロロプシスは低温環境を好むか？」

講師：石巻専修大学生物生産工学科 教授 佐々木 洋

5) 講演（16:05～）

「天然物からの有用成分の安心安全分離法としての超臨界流体による油脂抽出」

講師：東北大学工学研究科附属超臨界溶媒工学研究センター 教授 猪股 宏

6) 閉会（16:45～）

3. シンポジウム風景

(1) 主催者あいさつ

スメープジャパン(株) 代表取締役 原 芳道



(2) 基調講演

石巻市長 亀山 紘



4. 講演内容・資料

(1) 講演あいさつ

スmeerブジャパン(株) 代表取締役 原 芳道

①スmeerブジャパンの事業について

大きく2点あり、1つは藻には栄養価値の高い成分を豊富に含む種が多く、健康食品や化粧品原料としての価値が大きい点に着目し、これを培養し商品化します。2つめとして、微細藻に特有の高い光合成活性を利用し、又、火力発電施設から放出される排出炭酸ガスや冷却用海水を再利用した藻の大量培養を実現すれば、バイオエネルギーへの有望な資源となるので、この事業化を目指します。

②藻とは何か？

我々が培養を試みる藻は微細藻（マイクロアルジェ）と呼ばれる目に見えないほど小さな藻類です。微細藻の培養はコンタミネーション等の諸問題で大量培養が困難とされておりますが、近年、各国で大量培養が試みられています。日本ではクロレラが有名ですが、例えばユーグレナという会社は微細藻培養の事業に成功しており、年間数十億円の売り上げを出しています。他にもアスタキサンチンを多量に含むヘマトコッカスの培養など、様々な試みがなされています。

スmeerブジャパンではナンノクロロプシスという海産性の微細藻の培養事業を行います。この種は冷水に強く、また冷水下で油分を多く貯めることが分かっており、宮城県など比較的冷たい海での効率的な事業展開が期待できます。これを実現するべく、スmeerブジャパンはイスラエルのシームバイオテック社より世界最先端の大量培養技術のライセンスを購入し、事業を展開していきます。

③なぜ今、藻が注目されているか？

昨今のバイオ燃料に対する需要の拡大があります。現在の主要なバイオ燃料はトウモロコシや小麦などの食用植物が利用されておりますが、これらは食糧供給の減少や価格高騰を招き、現在では大きな社会問題となっております。食品と競合しない藻を培養して燃料化することで、このような食糧問題は回避することが可能です。

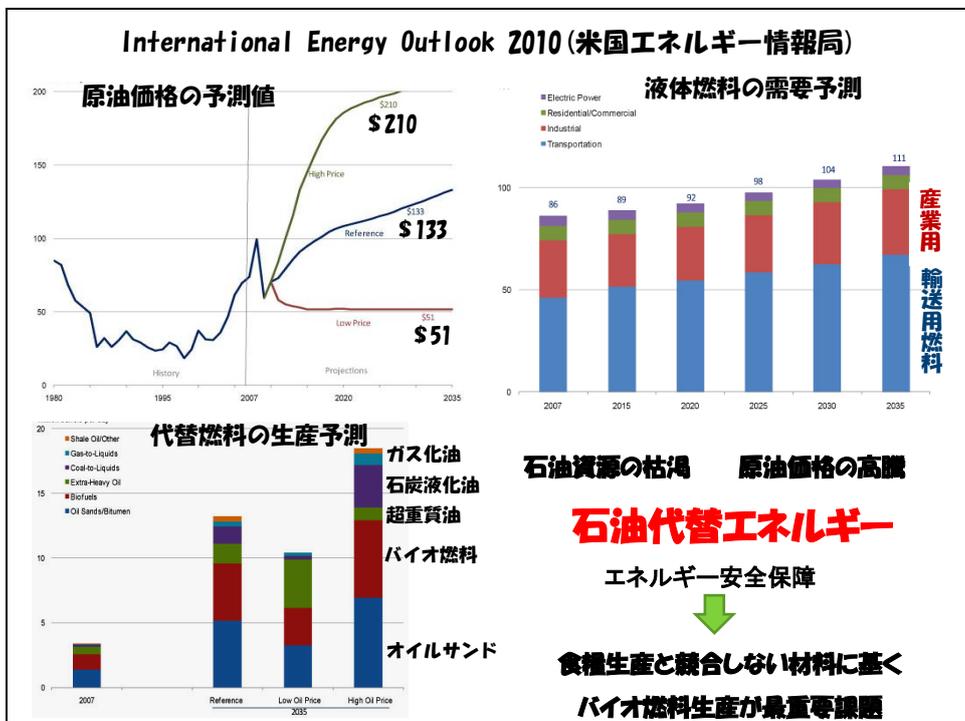
また、藻類は多くの貴重な栄養成分を含んでいるため、不足しがちな栄養成分、たとえばEPAなどを補うためのサプリメントとして利用されています。

④なぜスmeerブジャパンか？

スmeerブジャパンがライセンス契約を結ぶイスラエルのシームバイオテックは、微細藻を高密度で大量培養する最高度の技術を確立しております。この技術はシームバイオテックとアメリカのNASAの光合成技術との共同研究で開発されたものです。非常に高密度の培養を実現しており、高い生産性が期待されます。各国で大量培養の試みは行われておりますが、日本では技術的な困難性から大型屋外商業プラントの実現に至っておりません。スmeerブジャパンはこの技術を日本という固有の環境下へ適用し、日本での自家生産技術の確立を目指します。

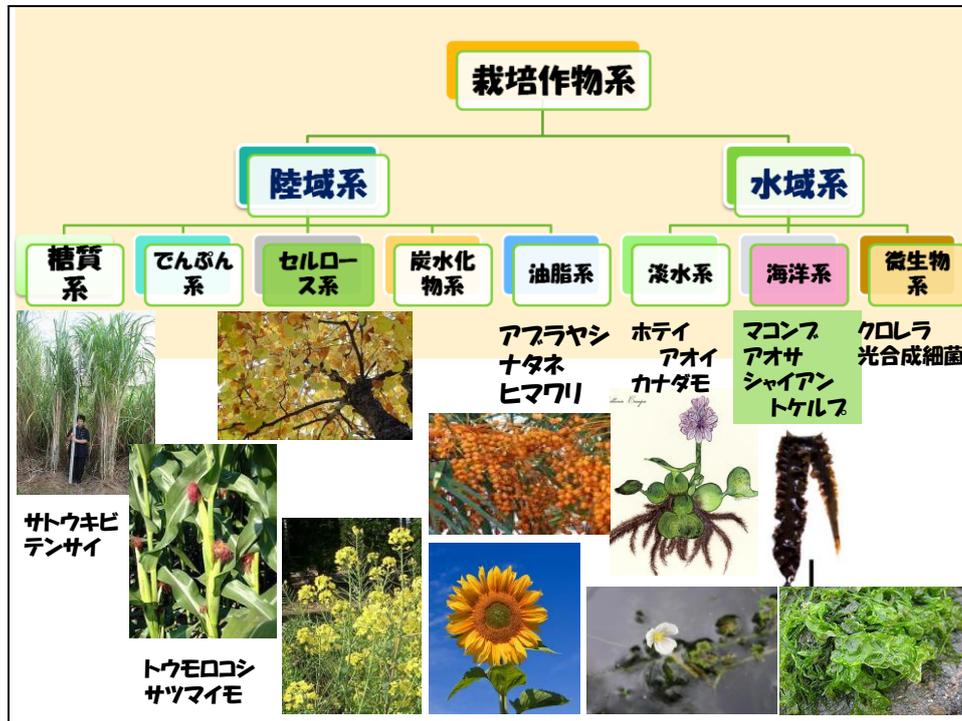
(2) 「マリン・バイオマスタウン構想について」

石巻市長 亀山 紘



低炭素社会の構築に向けて

資源とエネルギーを浪費する「量の多さと活動の速さ」の時代から、それを大きく削減して再生・有効利用する「質の高い堅実な歩み」の時代へと変える。(奥 彬、化学と工業(2010))



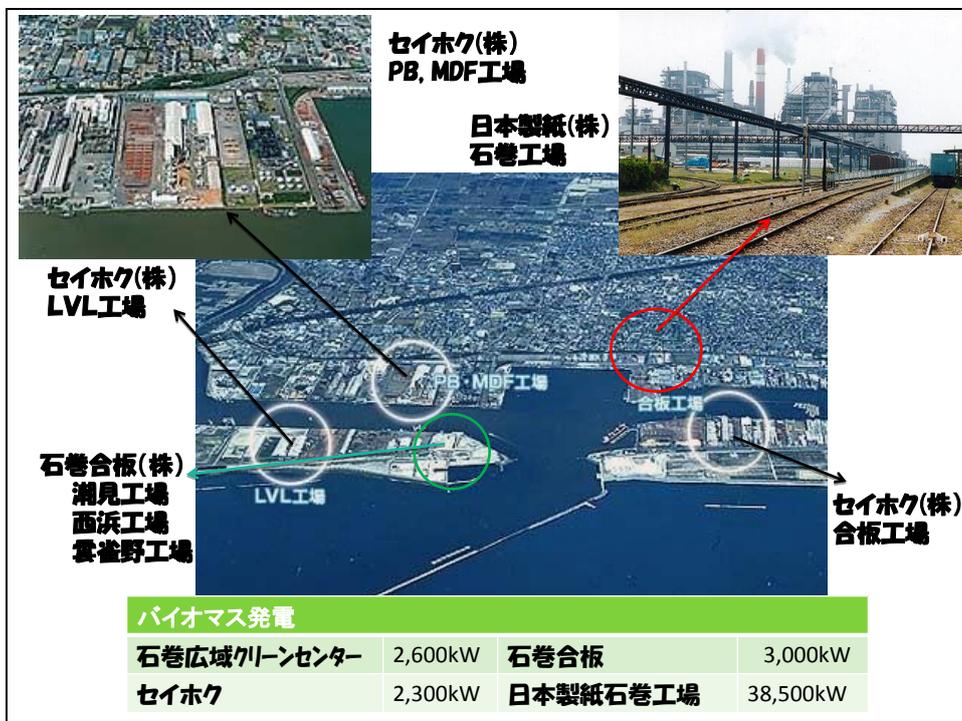
バイオマス利活用事業事例

マテリアル利用

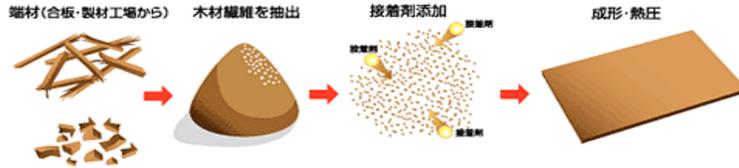
- 堆肥化
- 飼料化
- 炭化
- パーティクルボード
- 木質・プラスチック
複合材料
- 生分解性
プラスチック

エネルギー利用

- 鶏糞ボイラー
- メタン発酵
- 直接燃焼
- ペレット燃料製造
- BDF
- 輸送用代替燃料



中質繊維板(MDF): 蒸気でチップを蒸し、抽出した木材繊維に良質な接着剤を添加して成型・熱圧した木質素材



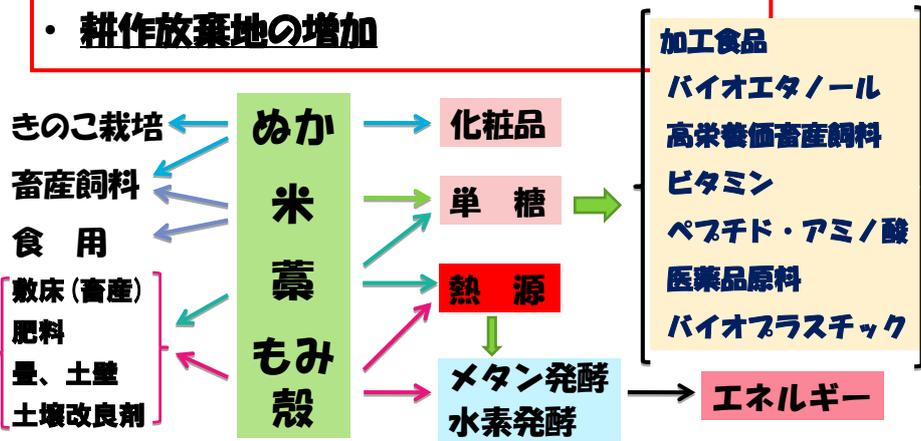
パーティクルボード(PB): 切削小片化した木材に強力な接着剤を塗布し成型熱圧した木質素材です。原料には100%リサイクル木材資源を使用するエコな商品です。



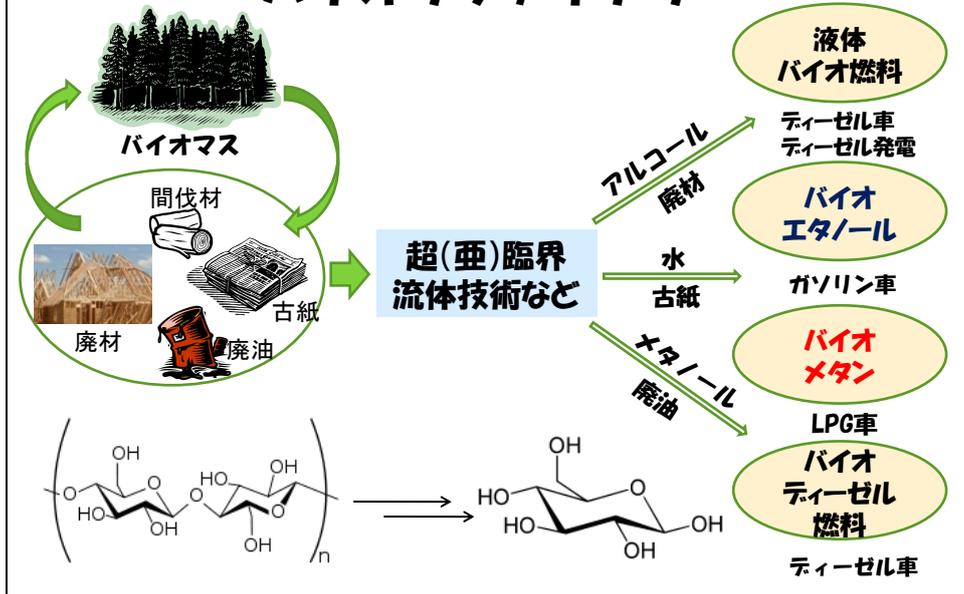
木質廃材リサイクルセンター: 1日当たりの処理能力は450トンで、約95%がチップとして利用できます。建築解体材や捨てられる家具などを新たな森林資源として活用するマテリアルリサイクルにより、循環型社会の構築を目指しています。

バイオマスの利活用 稲のリファイナーリーモデルプラン

- ・ 単独の取り組みでは経済性に課題
- ・ 食料自給率の低下
- ・ 耕作放棄地の増加



セルロース系バイオマスからの バイオリファイナリー



微細藻類の世界

円石藻 細胞直径5~100 μm	ヘマトコッカス 20~30 μmの卵形~球状	スピルリナ 幅5-8 μm、長さ300-500 μm	クロレラ 直径3~8 μm
デュナリエラ 90%はβ-カロテン	ユーグレナ(ミドリムシ) 機能性食品や化粧品	渦鞭毛藻	有毒渦鞭毛藻 渦鞭毛藻もラフィド藻と並び、赤潮の代表的な構成生物
キートセラス (約10 μm、希少飼料)	ボトリオコッカス (光合成で重油を生産)	ラフィド藻(30-130 μm)	珪藻

微細藻類が寄与するバイオ領域



植物種と比較した微細藻類からの燃料生産性効率

原料	バイオ燃料の1ha 当たりの生産量 ($\text{l}/\text{ha}/\text{年}$)	耕地面積 (A) (百万ha)	(A)の耕地に占 める割合 (B) (%)	(A) 米国の全輸送用燃料の 需要の50%を充たすのに 必要な耕地面積 (B) 耕地面積(A)が、米国の 耕地に占める割合 * 乾燥重量あたり30%の 油成分を含む種類 ** 乾燥重量あたり70% の油成分を含む種類
トウモロコシ	172	1,540	846	
大豆	446	594	326	
油菜	1,190	223	112	
ヤトロファ	1,890	140	77	
ヤシ油	5,950	45	24	
微細藻類*	58,700	4.5	2.5	
微細藻類**	136,900	2.0	1.1	

Yusuf Chisti, Biodiesel from microalgae, Biotechnol. Advances 25,294-306(2007)

微細藻類を利用した燃料生産の特徴

- 増殖速度が速い → 炭酸ガス固定への寄与が高い。
- 脂質のみならず炭化水素を生成する株もある。
- 食料との競合がない。
- 高等植物の栽培に適さない土地で培養できる(耕作放棄地の利用)
- 既存の植物油に比べて四季の影響を受けない。
- 他のバイオマスと比較して生産効率が極めて高い。

生態系によるマリンバイオマスの生産量

生態系のタイプ	面積 (10 ³ km ²)	バイオマス密度: 単位面積当たりのバイオマス量 (kg乾重/m ²)	バイオマス量 (Gt乾重)	単位面積当たりのバイオマス生産量 (g乾重/m ² 年)	バイオマス生産量 (Gt乾重/年)
外洋	332.0	0.003	1.0	125	41.5
湧昇流海域	0.4	0.02	0.008	500	0.2
大陸棚	26.6	0.01	0.27	360	9.6
藻場・サンゴ礁	0.6	2	1.2	2500	1.6
入江	1.4	1	1.4	1500	2.1
海洋合計	361	0.04	3.9	152	55.0
陸地合計	149	123	1837	773	115

○植物プランクトンの優占する海域:

外洋、湧昇流海域、大陸棚→**バイオマス密度著しく低い**

○植物プランクトン以外の付着藻類・海藻等が分布する海域:

藻場・サンゴ礁、入江→**バイオマス密度2~3桁高い**

○**バイオマス生産量÷バイオマス量=単位バイオマス当たりの生産効率**

海洋 10.6/年、陸域 0.062/年→海洋が170倍の効率

・藻類からバイオ燃料

微細藻類を養殖し、バイオ燃料に転換する「海洋バイオマスによる炭酸ガス吸収・利活用システム」

バイオエタノール

バイオ燃料

光合成バイオ燃料(PBF)

藻類由来バイオ燃料(ABF)

Jet燃料

・藻類の有効利用

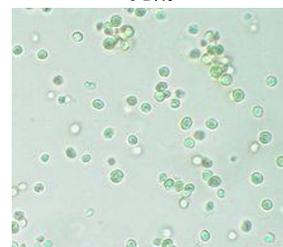
アスタキサンチン、アラキドン酸

オメガ3-不飽和脂肪酸

(EPA, DHA etc.)

健康食品、家畜飼料、養殖飼料

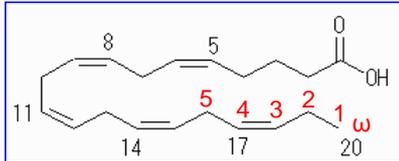
農業肥料



Nannochloropsis. sp

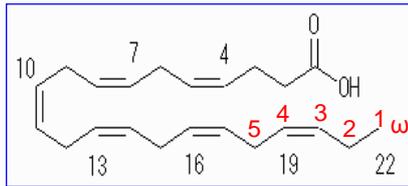
オメガ3-不飽和脂肪酸(EPA、DHA etc.)

エイコサペンタエン酸(EPA)



心臓病 (特に不整脈)
生活習慣病予防
炎症性疾患の改善
アレルギー体質改善
ダイエット

ドコサヘキサエン酸(DHA)



脳や神経組織の発育、機能維持に不可欠の成分

【ω3-脂肪酸の不足】

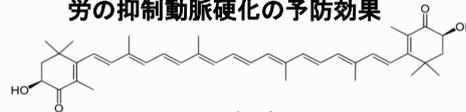
注意欠陥

ハイパーアクティビティー障害

アラキドン酸



老化防止、眼精疲労改善、筋肉疲労の抑制動脈硬化の予防効果

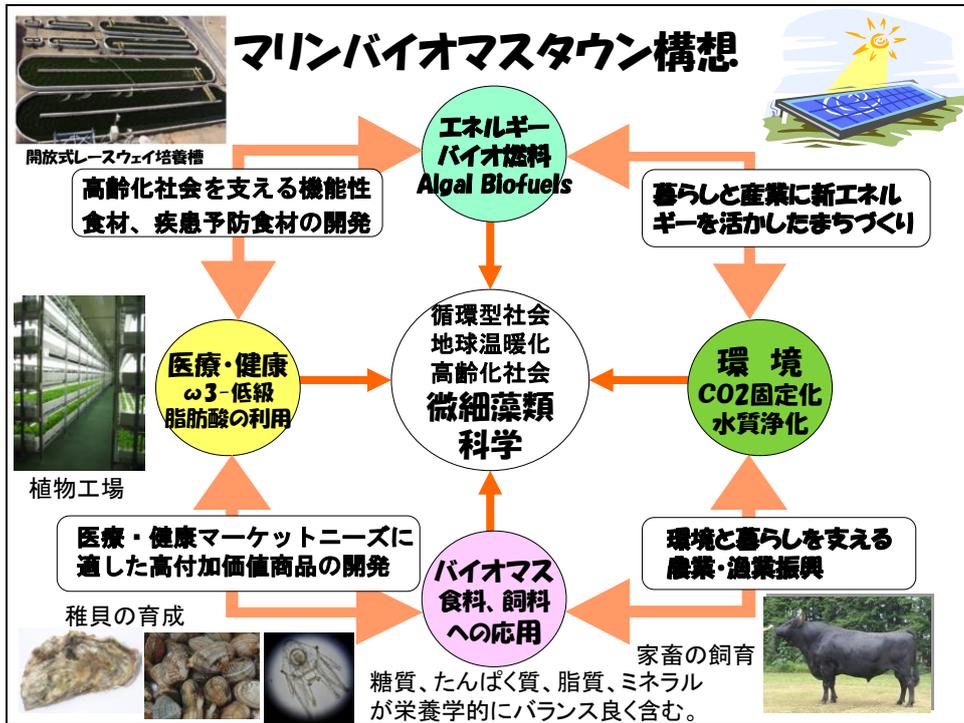


アスタキサンチン

微細藻類からのバイオ燃料生産研究の課題

- 高い増殖率と油脂含量の高い藻類の探索・作出
- 最適培養条件の解明 → 培養施設的设计と運転条件の策定
- 回収過程における省コスト化
- 乾燥を必要としない効率的な抽出技術の開発





(3) 「養殖種苗・オメガ3・バイオ燃料の市場からみた微細藻培養の事業化の意義について」
 ジェイ・フェニックス・リサーチ(株) 代表取締役 宮下 修



JPR
Independent Research & Advisory

ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社

養殖種苗・オメガ3・バイオ燃料の市場からみた
 微細藻培養の事業化の意義について

2011年3月11日

J-Phoenix Research Inc.: All Rights Reserved.

東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル 14階 〒105-0003



JPR
Independent Research & Advisory

藻類バイオマスビジネスの意義

	20世紀型の世界経済のフレームワーク	21世紀型の世界経済のフレームワーク
<ul style="list-style-type: none"> ■ 一時的にリーマンショックで世界的に経済成長が停滞し、食料・資源価格も落ち着いているものの、21世紀型の世界規模での成長が続くかぎり、需要がタイトになる ■ 食料・資源・エネルギー需要は常に供給を上回る状況が想定される ■ 藻類バイオマスは人類が未活用の資源であり、藻類バイオマスビジネスはまさにこの21世紀型世界経済のフレームワークに合致したビジネスである 	<p>経済成長の特徴</p> <p>先進国のみで、経済成長は一部地域に限定。成長する新興国も規模が小さい</p>	<p>先進国は成長は頭打ち。大規模な新興国で高度成長。世界規模で成長</p>
<p>資源需要構造の特徴</p>	<p>先進国だけの需要であり利用可能な食料・地下資源の供給量が需要を上回る状況</p>	<p>恒常的に需要が利用可能な地下資源の供給を上回る状況</p>
<p>資源価格変動の特徴</p>	<p>景気循環で上下 (例外:石油危機)</p>	<p>恒常的に上昇圧力 (例外:リーマンショック)</p>
<p>事業戦略</p>	<p>いかに安く、安定的に食料資源・地下資源へアクセスできるか</p>	<p>左記に加えて、地下資源に頼らないエネルギーの開発が重要戦略へ 原子力/風力/太陽エネルギー 食料の自給政策の重要性増大</p>
<p>想定される経済的成果</p>	<p>食料資源・地下資源へのアクセスを確保できれば競争優位性確保</p>	<p>エネルギー食料の需給構造は、基本的に需要>供給。低コストでの地下資源に頼らないエネルギーを開発すれば長期的に超過リターンを確保へ</p>

J-Phoenix Research Inc.: All Rights Reserved.

1

バイオエネルギーをめぐる動き

- CO2排出削減に寄与するバイオエネルギーは、まずは入手が容易な穀物や、リサイクルによって確保できる廃油や廃材などを中心に実用化が進んできました。
- しかし、これらの入手が容易な原料では、耕作地をめぐる食料との競合問題や、安定供給の困難性などから、持続可能な資源としては問題があり、CO2排出削減、石油代替をより持続可能な形で達成できる原料として、これまで利用が進んでいなかった、微細藻に注目が集まっております。



CO2削減に寄与し石油代替をサステイナブルに進めることができる新たなバイオエネルギー源として微細藻が急速に注目
 例：2009年エクソンモービルが6億ドルを微細藻エネルギーベンチャーに投資

微細藻エネルギーの特徴

- 右で列挙したような特徴を持つ微細藻エネルギー産業は、環境問題及び社会的意義から見て人類社会にとって革命的变化を起こす可能性を秘めています。

食料問題との競合問題を回避しながら環境エネルギー問題解決に寄与

水資源問題とは無縁

革命的に高いエネルギー生産能力・CO2削減効果

石油産業のインフラの有効活用

高単価栄養素の供給も同時可能(EPA、DHA、βグルカンなど、キロ15万円)

米国で利用されている石化燃料を全て代替するために必要な土地の広さの推計

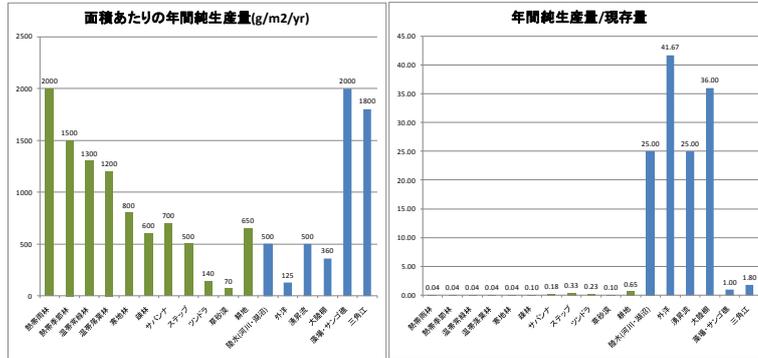


(出所)Greener Dawn Research

微細藻は潜在的にサステイナブルなバイオエネルギーの供給源として非常に有望な特徴を持つ

微細藻バイオマスの生産性

- 右記は、陸上と水界の様々な環境における、バイオマスの面積 当り年間純生産量と年間純生産量/現存量について比較したものである。
- 藻場は、熱帯雨林と並んで、面積当り年間純生産量が最も大きい。
- さらに注目されるのは、年間純生産量/現存量で見ると圧倒的に水界が比較にならないほどの生産性の高さを示している。
- その理由としては、水界で主にバイオマスを生成している藻に関して以下のような特徴があることが挙げられる。
- 海水では、可視光線が分解されるため様々な色の可視光線を吸収する光合成が、陸上植物よりも発達している
 - 海藻は基本的に藻体全体が光合成組織であること
 - 藻体が水流の攪乱により大きく揺れるために効率の良い受光と光合成が可能であること
- ただし、海全域で一律ではなく、海洋深層水が海面まで達している地域などごく一部の地域で藻類が爆発的に生長している



■ 出所) 福岡教育大学, <http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuhara/keita/0-2.html>. 現出典: Whittaker, R. H. and Likens, G. E. (1973): Carbon in the biota. pp.281-302. In "Carbon and the Biosphere. CONF 720510." (Woodwell, G. M. and Pecan, E. V. eds.), National Technical Information Service, Washington, D.C.

陸生生物は、ストックとしてのバイオマス量は豊富だが、フローでのバイオマス生成量では、微細藻よりもはるかに劣る。フローでのバイオマス生成量が豊富な微細藻を利用することが、長期的にサステイナブルな循環社会を創造する上では極めて重要である。

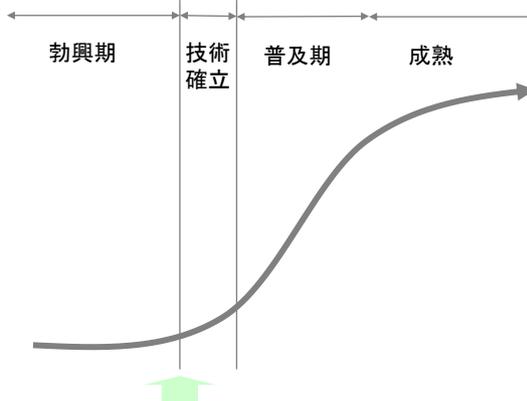
海外における藻類バイオマスビジネスの動向: 日本を含む概要

- 日本は、海洋資源にめぐまれ、古くから藻類を食用にし、また養殖にも藻類を飼料として利用するなど、藻類の利用は世界でも最もすすんでいる国の一つであるといえよう。
- また、太平洋戦争後、食料・物質不足を解消するために藻の商業化を念頭に基礎研究が盛んになり、石油危機時には、財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)主導で大規模な微細藻の商業化への研究が行われた。
- しかし、近年の微細藻の大規模商業化の動きからみれば、世界的には遅れている状況にある。
- 産官学で言えば「学」では進んでいるが産、官で欧米から見れば相対的に遅れている状況にある。

産業の発展ステージ	米国	欧州	日本
基礎研究ステージ	■ エクソンモービルなどがベンチャー企業に600millionドル投資するなど大規模商業化への動きが盛ん	■ 欧州藻類バイオマス協会は商業化が今後10年から15年かかると見込むなど、産業に発展には長期かかるとの見通し	■ 大手企業が参画し始めているが、なお実証段階の域を出していない。
応用・実証研究ステージ	■ 今後5年で商業化を目指す企業が続出	■ 欧州藻類バイオマス協会は、研究者のコンソーシアム開催や、藻類美ビジネスへの税金などの優遇措置を提案するなど、欧州全体の動きを促進	■ しかし、日本は藻の基礎研究は世界的にリードしており、商業化のための基礎は高い
パイロットプラントステージ	■ 一方で老舗であったGreenFuelが倒産するなど、産業化にはなお非常に不安定な状態	■ 2020年までにバイオ燃料を10%を運輸用燃料で利用することを義務づける指令をEUが採択	■ また、最も藻類を食する経験のある国民である
大規模商業化準備 (ファイナンス・大手企業参入)	■ 政府は微細藻エネルギーへの投資についてセルロースと同様に加速度償却を認めることへ		■ 日本の海洋環境・海洋生物多様性藻類ビジネスにとってプラスの環境
大規模商業化初期	■ 各種技術を産官学で総合的に検証するエネルギー省主導のプロジェクトが主導		■ ただし、微細藻エネルギーの海外主要コンファレンスには日本人のスピーカーはおらず、商業化の世界的レースには取り残されている
産業として定着			■ 平成21年以降、微細藻エネルギー関連の政府委託研究事業が複数採択

Sカーブから見た藻類バイオマスビジネス

- 現在は、勃興期から技術確立期にあるといえる。
- 様々な技術について
- ただし、藻類は非常に多様性に富む生物であり、人類が知らない様々な有用物質を生成する可能性があり、また培養技術も極めて多様となる可能性がある
- 様々な技術の組み合わせにより複雑な技術発展経路を見せる可能性が高い
- 数千年にわたる知恵の蓄積がある伝統的な農業に比較すれば、藻類バイオマスビジネスはまだ数十年の研究の歴史しかない
- 大規模培養槽での商業化のための試行錯誤が今後加速していけば技術確立のフェーズに入っていくと予想される



現在はこの時点にあると推測まだ技術的には未確立状態

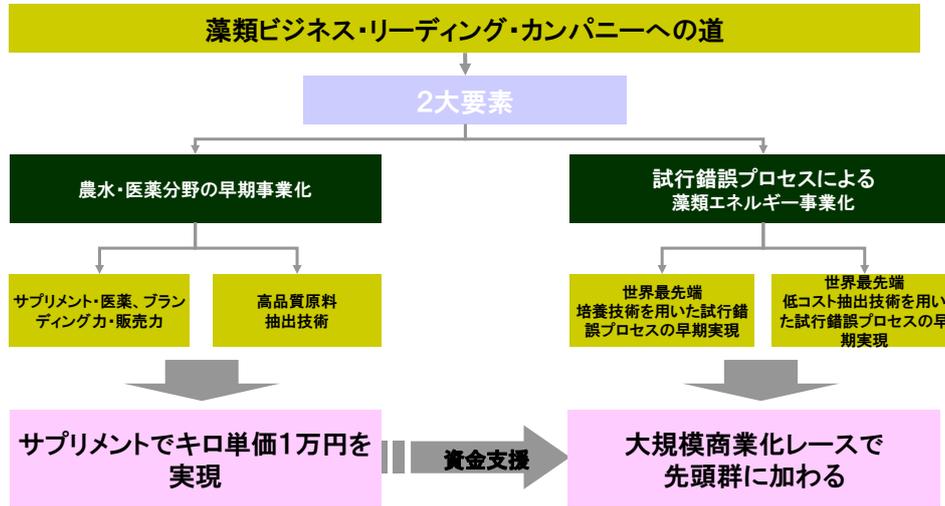
徹底したグローバルな情報収集と日本の優れた藻類研究・光合成研究の蓄積及び日本の海洋環境及び海洋生物多様性を活かせば十分に世界最先端に追いつくことは可能ではないか？

藻類バイオマスビジネスのバリューチェーンと事業戦略

- トータルなバリューチェーンをみると、コスト的には大規模商業化の技術は未確立であります。
- 従って、当面は、微細藻に含まれる高付加価値の栄養素(EPA、DHA等)の販売で採算を得ながら規模を拡大し、同時にトータルなコスト削減の技術の確立を目指すことがめざされています。

バリューチェーン		大規模商業化のための現状
前工程	種の選定	■ 油脂・糖分生産力の高い種は特定済み
	培養	■ 世界最先端企業が大量培養技術を確立
後工程	収穫・脱水	■ 少量規模での技術はほぼ確立 ■ 大規模商業化技術が課題
	糖分・油脂抽出	
	精製	
最終製品	販売	■ 石油設備が利用可能

現状のまとめ
■ 海外バイオベンチャーは低コスト大量培養技術確立
■ 精製までの商業化技術は未確立
大規模商業化の道筋
■ 高単価(キロ1万円程度)の栄養素で利益を得て規模拡大
■ 規模拡大とともに、精製までのトータルな商業化技術確立

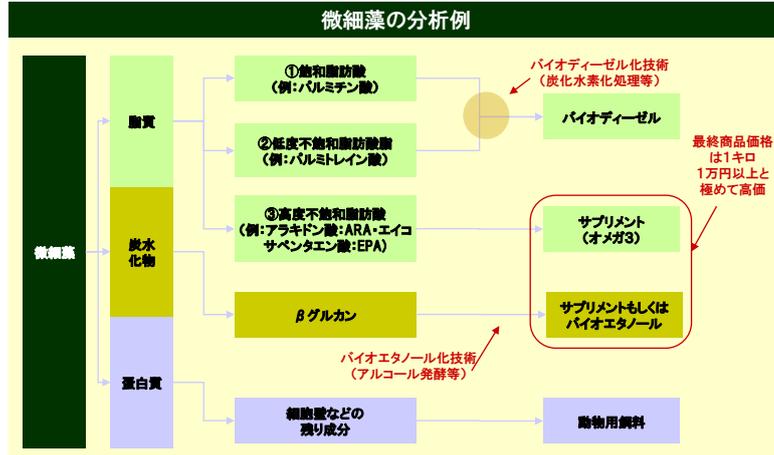


項目	数量	単位	前提
①日本の一日あたり石油消費量	440	万バレル	
	69,954	万リットル	
②①の微細藻バイオマス量換算	2,331,814	トン	30%が油脂
	116,591	Km ²	20 g/m ² /日
③必要な培養面積	58,295	Km ²	40 g/m ² /日
	38,864	Km ²	60 g/m ² /日
	23,318	Km ²	100 g/m ² /日
参考			
山手線の内側	65	Km ²	
琵琶湖	670	Km ²	
耕作放棄地	3,700	Km ²	
耕作面積	36,080	Km ²	
日本全土	377,923	Km ²	
日本可住面積	121,343	Km ²	
米国とうもろこし作付け面積	356,933	Km ²	

(出所)各種データよりジェイフェニックスリサーチ作成。

有用物質の利用イメージ

- 脂質は高度不飽和脂肪酸の場合は極めて高価なサプリメントに利用できる
- 純度の高い精製ができれば全体としての採算性は非常に改善される



微細藻の漁業への応用(海洋性微細藻: ナンノクロロプシス)

- ワムシは、仔魚に対する優れた培養餌料として知られていて、魚の養殖における重要な餌料である。
- 近年のワムシ大量培養で利用されている主な培養用餌料は以下の三つ。

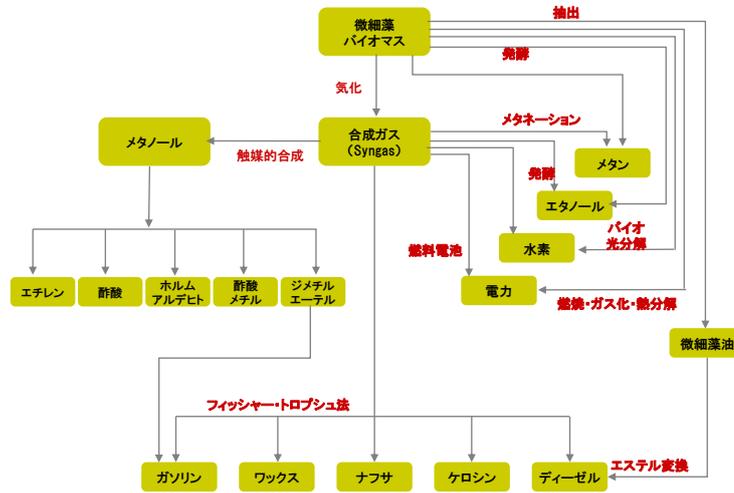
名称	大きさ	利点	欠点
ナンノクロロプシス	2~6μm	・農業用肥料で容易に培養できる ・ワムシへの餌料価値が高い ・海水由来なので海水中でも生存して水質悪化が起こりにくい ・EPAなど高度不飽和脂肪酸を含む	・培養が天候に大きく左右される ・培養状態により栄養価が変化し品質が不安定
パン酵母	4~7μm	・市販品があるため入手が容易で冷蔵保存可能 ・単価が安い	・ワムシへの餌料価値が低い ・海水中では短時間で死滅して水質悪化を招きやすい ・原生動物や細菌等が増殖しやすい
淡水クロレラ	2~10μm	・市販品があるため入手が容易で冷蔵保存可能 ・品質が安定している ・ワムシへの餌料価値が高い ・ワムシの必須ビタミンであるB ₁₂ を含有	・海水中では短時間で死滅して水質悪化を引き起こす可能性がある ・パン酵母に比べ単価が高い ・EPAなど高度不飽和脂肪酸の含有量が小さい

(出所)水産総合研究センター、農林水産省研究情報総合センター資料より作成

- 2006年度のワムシ培養に関するアンケート調査では、淡水クロレラを単独利用する機関が全体の51%で、他の餌料との併用利用を含めると92%を占めることから、近年のワムシ培養では淡水クロレラが主餌料である。
- EPAなどの高度不飽和脂肪酸を含むナンノクロロプシスは栄養価の高いワムシを育成し、健康な仔魚のために栄養価が高いものの、安定供給が困難であった。一方で、淡水クロレラは入手が容易であることから利用が進んでいる。
- 独立行政法人水産総合研究センター能登島栽培漁業センターの研究によれば、ナンノクロロプシスによる飼育でのワムシの高度不飽和脂肪酸の増加テンポは、淡水クロレラよりも早いことが示されている。
- したがって、高品質のナンノクロロプシスの安定供給体制が確立できれば市場が拡大する可能性がある。

- 現状では、ディーゼル生成がもつとも現実的な選択肢とされる
- ただし、そもそも微細藻は石油の元であるため、石油産業と同様の幅広いエネルギーの原料、及び化学産業への原料としての広がり可能性を持つ
- 右に紹介された手法(赤字)は全て確立された技術であり、大量の微細藻のバイオマスが生成できれば、左記の全ての連関は産業化することは十分可能と考得られる
- 右手法は、1リットル当たり数十円程度の金額で利用可能である
- 微細藻の油が低価格(100円未満)で提供できるようになれば、様々な産業における商業化の可能性が広がる

藻類バイオマス利用総合的活用

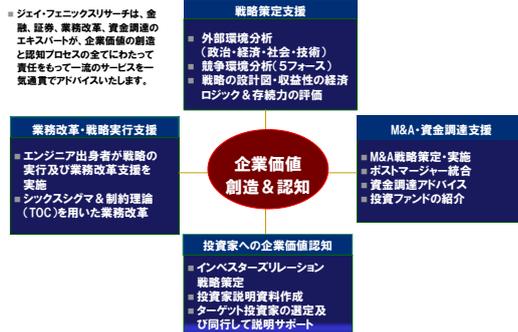


フィッシャー・トロプシュ法、Fischer-Tropsch process, FT法は一酸化炭素と水素から触媒反応を用いて液体炭化水素を合成する一連の過程である。触媒としては鉄やコバルトの化合物が一般的である。この方法の主な目的は、石油の代替品となる合成油や合成燃料を作り出すことである。「フィッシャー・トロプシュ反応」や「フィッシャー・トロプシュ合成」とも呼ばれる。

ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社のご紹介

- 名称: ジェイ・フェニックス・リサーチ株式会社 (J-Phoenix Research Inc.)
- 住所: 〒100-0006 東京都港区西新橋1-2-9 日比谷セントラルビル 14階
- Tel: 03-5532-7647
- Fax: 03-5532-7373
- 業務: 企業調査事業、IRコンサルティング、その他上記に付随する投資銀行関連業務
- 設立: 2003年5月2日
- 資本金: 1000万円
- 代表者: 代表取締役 宮下 修
- 監査役: 露木 正人
- 法律顧問: 栗林総合法律事務所
- ホームページ: www.j-phoenix.com
- ブログ: http://ameblo.jp/j-phoenix-research/
- アドバイス実績(全て上場企業)
 - インターネット関連5社 / 運輸1社 / 外食1社 / 化学1社 / 機械8社 / 娯楽1社 / 電子部品1社 / 専門店1社 / 半導体関連2社 / 不動産2社 / 精密1社 / ソフトウェア1社 / その他製造1社。
 - アドバイス対象企業の合計直前期売上合計3兆4000億円 (2009年3月時点)
 - 時価総額合計1兆4000億円 (2009年6月時点)

■ ジェイ・フェニックス・リサーチは、金融、証券、業務改革、資金調達のエキスパートが、企業価値の創造と認知プロセスの全てにわたって責任をもって一連のサービスを一貫して提供いたします。



(4) 「微細藻ナンノクロロプシスは低温環境を好むか？」

石巻専修大學生物生産工学科 佐々木 洋

微細藻ナンノクロロプシスは 低温環境を好むか？

「耕作放棄地における微細藻培養技術の確立と事業化方策の
検討」に関するシンポジウム

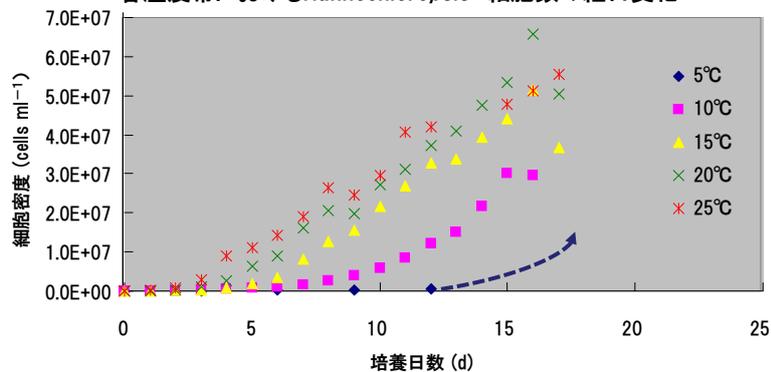
1. 寒冷生物学の豆知識
2. 微細藻類生物学およびナンノクロロプシスの基礎
3. 昨年秋の報告会のまとめと残された課題
4. 秋以降の研究成果
5. 今後の検討課題

石巻専修大学理工学部
佐々木洋（太田尚志、平岡正明）
平成23年3月11日

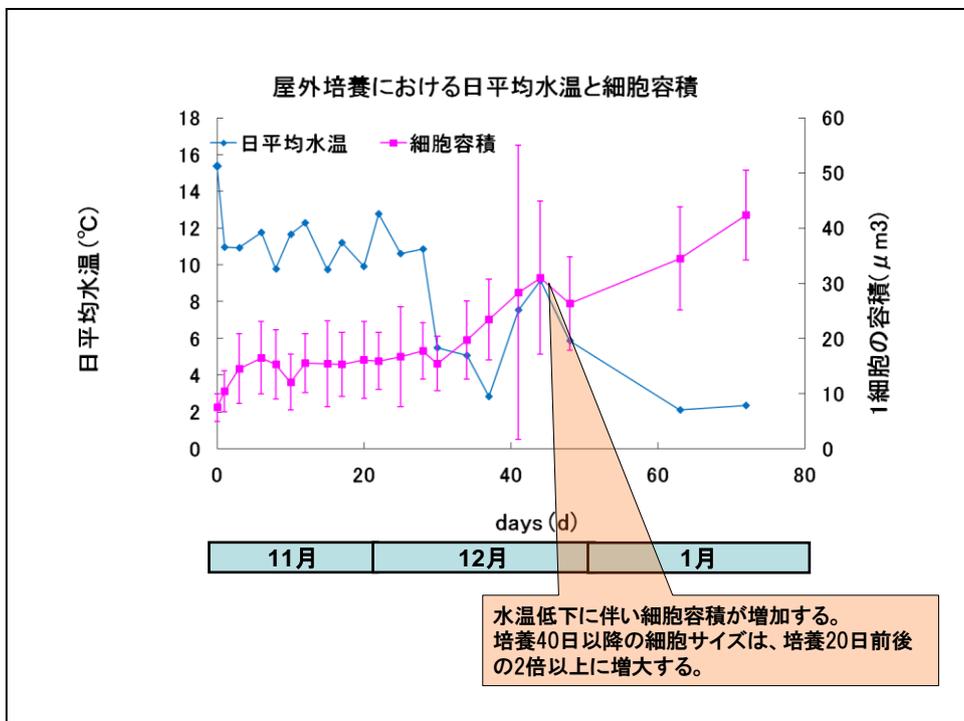
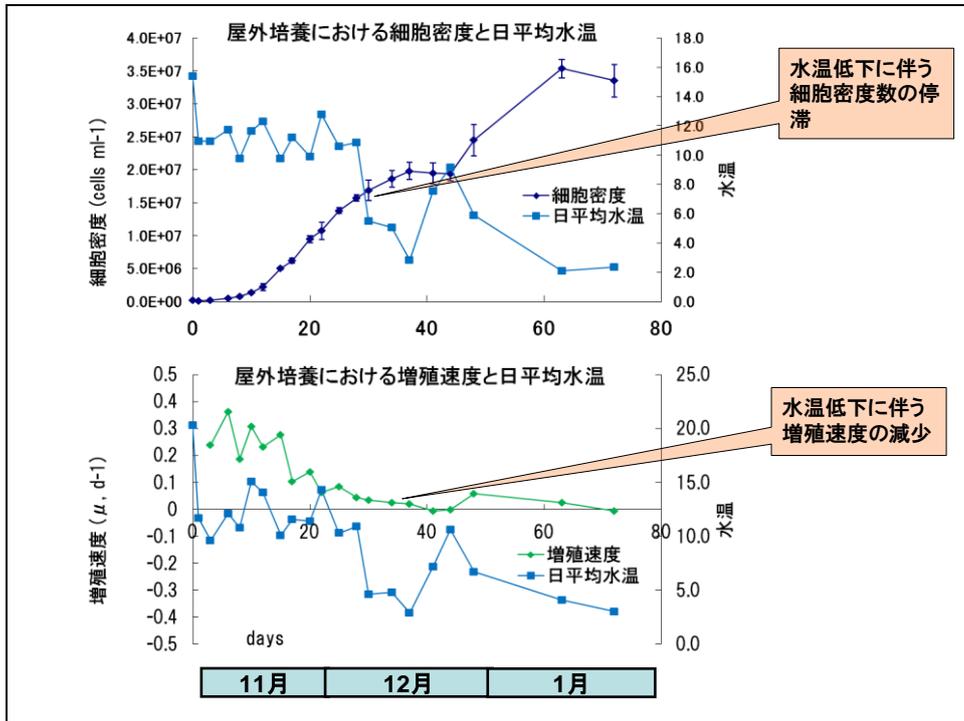
室内培養実験の結果(平岡)

培養容器:75mlプラスチックボトル
培地:f/2(自然海水強化培地)

各温度帯における*Nannochloropsis* 細胞数の経日変化



設定温度の上昇に伴い、増殖速度、培養期間最後の細胞密度が増加する傾向が見られた。細胞密度は10°Cでも、20度の7割近くに達し、5°Cでも、若干の細胞の増加が見られた。



室内実験、野外中規模培養実験のまとめと課題

(平岡、鹿野、太田)

1. 室内実験においては、従来の研究成果通りの水温、光、栄養塩条件下で細胞数は 10^7 ml⁻¹に達した。
2. 野外の中規模培養実験においても細胞数は $>10^7$ ml⁻¹に達した。
3. 自然条件下(約 10°C)において細胞の肥大化(>2 倍)が認められた。

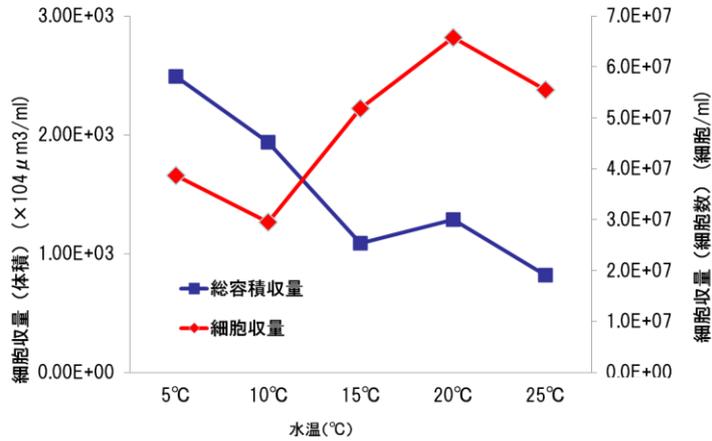
まだ試みていない実験

- ・CO₂ガスの添加効果
- ・冬季水温条件($<5^{\circ}\text{C}$)における増殖能の確認
- ・細胞内に蓄積する脂質重量、脂質組成
- ・低温条件下における細胞サイズ増大と脂質含量の関係

牡鹿半島付近の環境において屋外藻類培養を行う際の留意点 (太田)

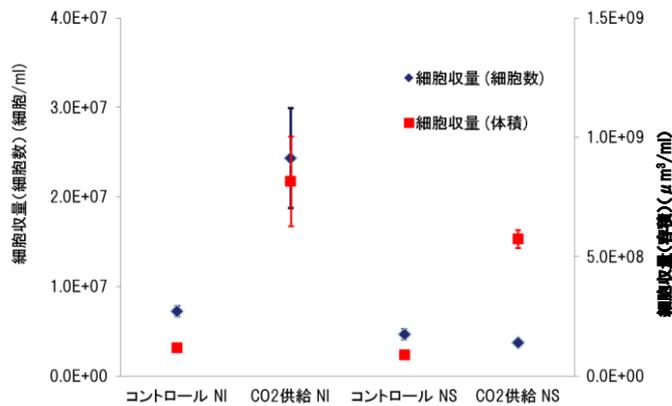
1. 過去の気象データ(降水量、風速、大気圧、日照時間、照度など)をもとに、現場の培養環境(水槽の水温、塩分濃度など)を正確に把握する。
2. 気温と水温(冬季の低水温)の影響
水温は気温の影響を受ける(12~3月の間の平均気温は 5°C 以下)。
3. 塩分濃度(雨量増加時の塩分低下)の影響
塩分濃度は水の蒸発によるよりも降水による希釈が大きい。
4. 増殖速度と細胞サイズから細胞収量(重量)を考える
 5°C 以下、低塩分の増殖特性(増殖速度と最大細胞収量)を把握する。
生物、非生物粒子の混入程度とその影響を調べる。

秋以降の追加実験の結果



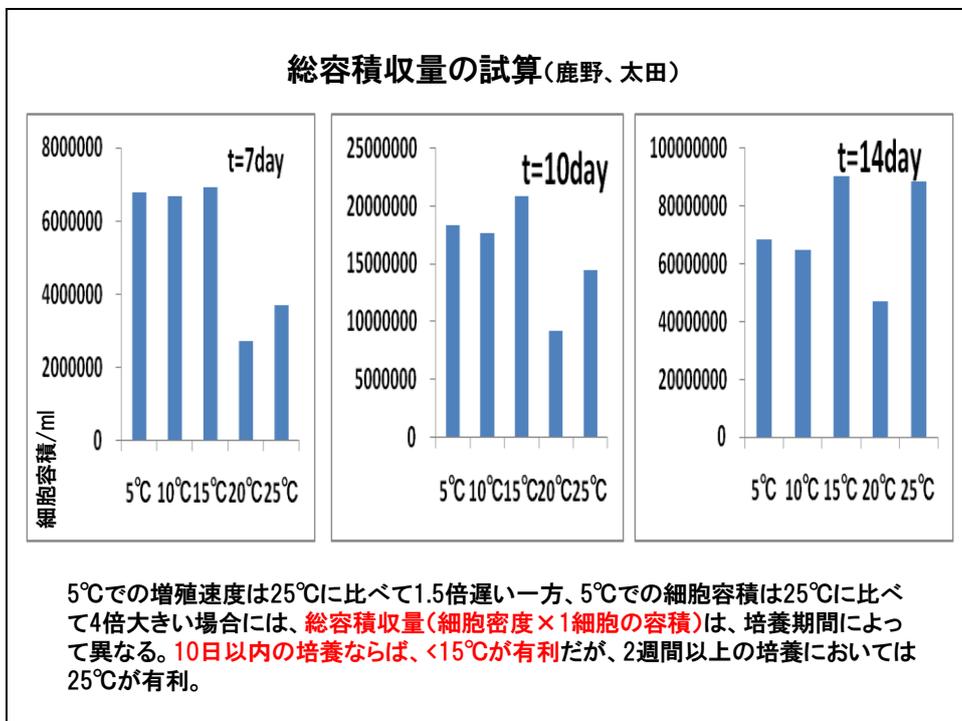
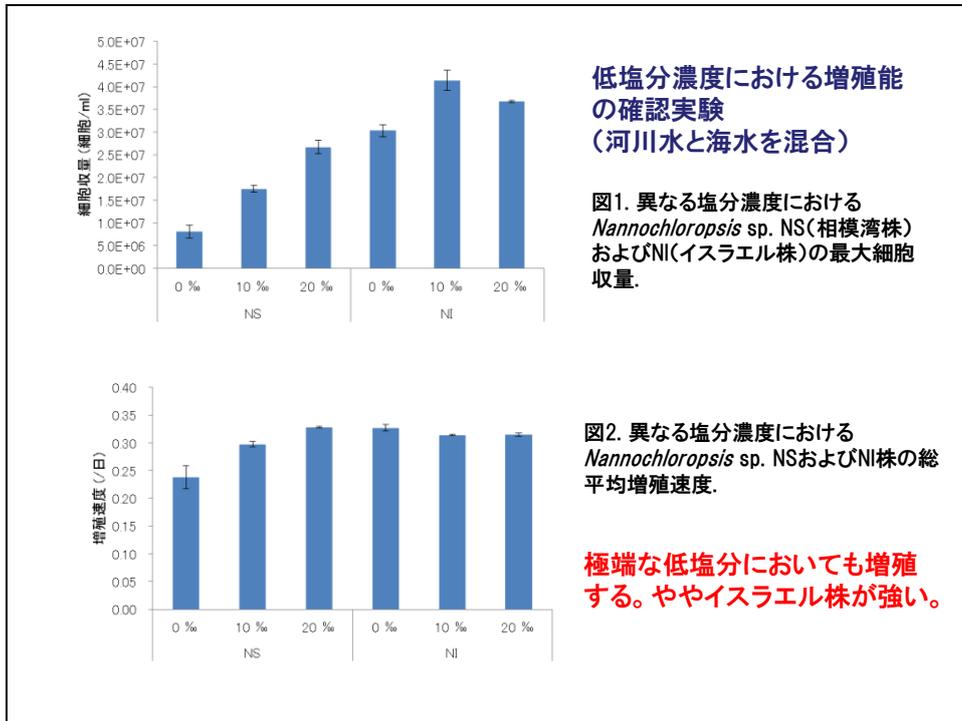
細胞数収量と細胞容積の収量の温度依存性の確認実験 (イスラエル株)(平岡)

一定期間内に達する細胞数は、 $>20^\circ\text{C}$ において高く、 $<10^\circ\text{C}$ において低いが、細胞サイズに依存する細胞容積収量は、 $<10^\circ\text{C}$ において高い。



CO₂ガス(5%)の添加効果の確認実験 *Nannochloropsis* NI(イスラエル株), NS(相模湾株)の細胞数収量および細胞容積収量の比較。

CO₂供給の効果は両株において確認された。細胞数においては、NI株が優位だが、細胞容積においてはイスラエル株、駿河湾株ともに同等の効果が確認された。



これまでの室内実験、野外中規模培養実験のまとめ

1. 冬季水温条件(5°C)における増殖能
→ 増殖速度は低下するが、増殖可能、サイズ増加
2. CO₂ガス(5%)の添加効果
→ 細胞数、細胞サイズにおいて増殖効果を確認
3. 低塩分濃度における増殖能
→ 増殖速度はやや低下するが、増殖可能、特にNI株が優位
4. 低温条件下における細胞収量(重量)と培養期間
→ 短期間(<10日)の収穫が有利

まだ試していない実験項目

- ・最終細胞密度を10⁸~10⁹とする
- ・細胞内に蓄積する脂質重量、脂質組成
- ・低温条件下における細胞サイズ増大と脂質含量の関係

今後の検討課題

1. 培養水槽への適量の栄養塩、CO₂ガスの添加
EPA生産が目的ならばN欠乏させない?
CO₂ガスは1~2%で十分
広塩性であるため、雨量の影響は少ない
2. 有用株の選択
CO₂供給時、また低塩分耐性に関してNIがやや有利
3. 季節ごとに培養期間を変えることによる収量の最大化
高水温期においては細胞密度を効率的に増加させる
低水温期には細胞サイズを増大させ、短期培養にする
4. 目的の有用成分(例えばEPAなど)に特化して収量の最大化を図るための培養条件の選択
細胞サイズの増大が脂質の増加、EPAの増加につながるかどうかを確認する

(5) 「天然物からの有用成分の安全安心分離法としての超臨界流体抽出」

東北大学工学研究科 超臨界溶媒工学研究センター 猪股 宏

微細藻類培養技術・事業化 シンポジウム

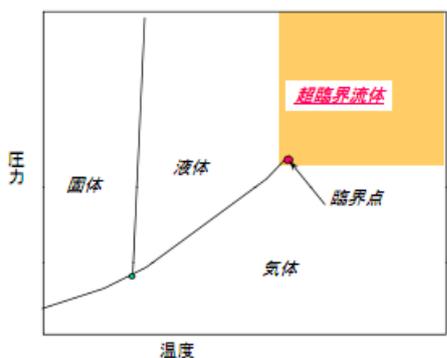
「天然物からの有用成分の安全安心 分離法としての超臨界流体抽出」

- ・超臨界流体とは
- ・分離溶媒としての特性
- ・応用事例

東北大学工学研究科
超臨界溶媒工学研究センター
猪股 宏

超臨界流体とは？

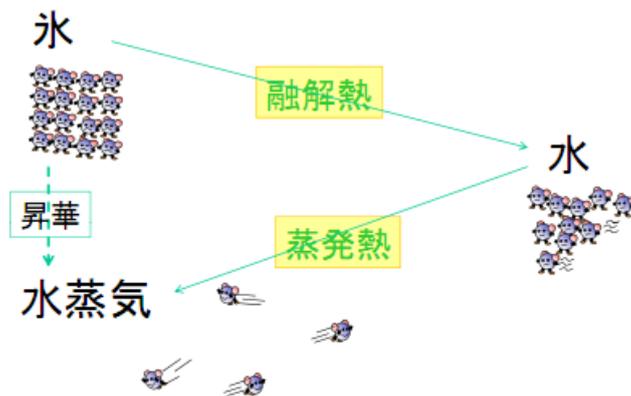
臨界温度以上(超えた状態)にある非凝縮性流体
温度、圧力を操作変数とした物性の大幅な制御が可能



The diagram is a phase diagram with Pressure (圧力) on the vertical axis and Temperature (温度) on the horizontal axis. It shows three main regions: Solid (固体) on the left, Gas (気体) at the bottom, and Liquid (液体) in the middle. A critical point (臨界点) is marked at the end of the liquid-gas phase boundary. The region to the right and above this point is shaded orange and labeled '超臨界流体' (Supercritical Fluid).

CO ₂	水
T _c =31°C,	374°C
P _c =7.38MPa	22.1MPa

気体-液体-固体 (水蒸気 ⇄ 水 ⇄ 氷)



では、超臨界って何？

・ 物質の状態

固体 - 液体 - 気体

圧力: 分子間の距離に反映

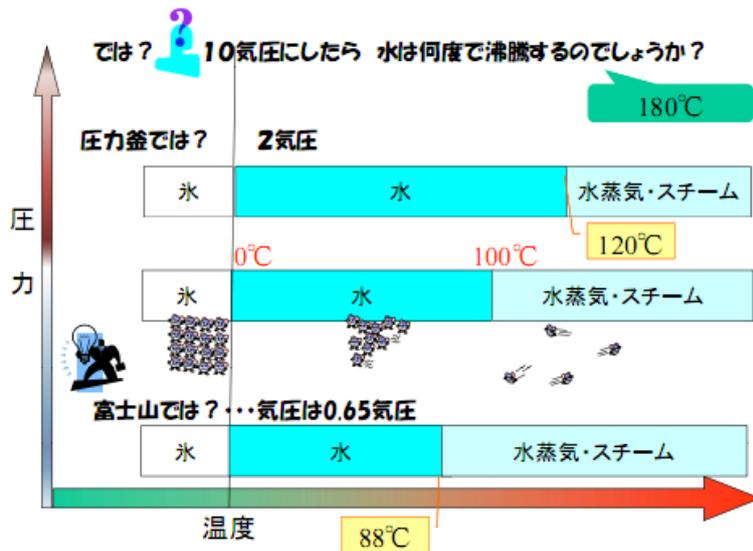
温度: 分子の運動速度・運動エネルギーの指標



・ 臨界点 = 気体と液体が識別できなくなる点

- 気体 → 液体 (凝縮力 ~ 分子間引力)

・ これを **超えた**... ということで **超臨界**



緒言 ～超臨界流体とは～

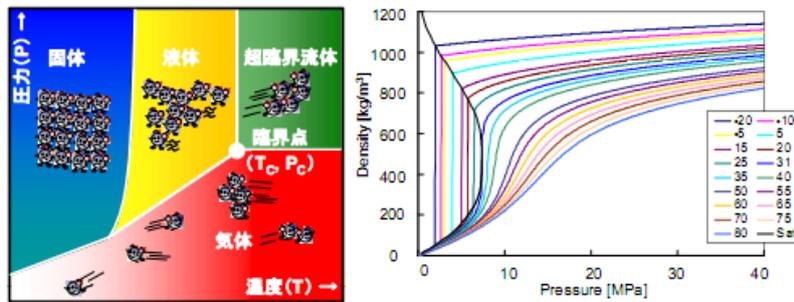


図 CO₂の圧力 - 密度曲線

CO₂

- 臨界条件に到達しやすい(31°C, 7.4 MPa)
- 無極性有機溶媒と似た性質 (n-Hexaneに類似)
- 大気圧下では気体(溶媒残留がない)
- 細孔内への拡散性に優れる

分離溶媒としての可能性評価

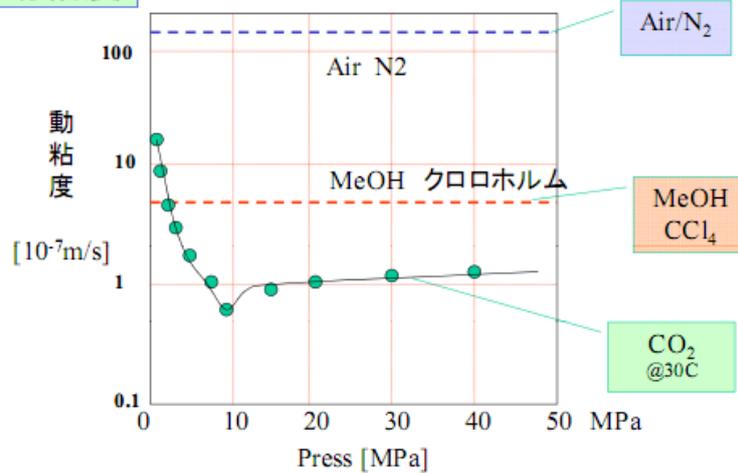
超臨界流体の一般的性質

気体、液体および超臨界流体の物性値

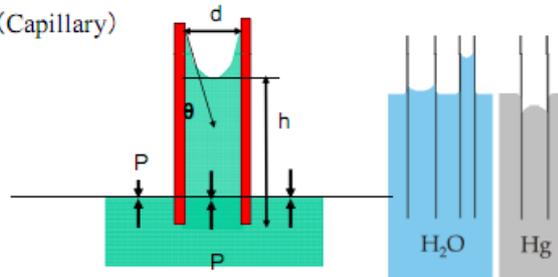
物 性	気体	超臨界流体	液体
密度 [kg/m ³]	0.6~2	300~900	700~1600
粘度 [10 ⁻⁵ Pa·s]	1~3	1~9	200~300
拡散係数 [10 ⁻⁹ m ² /s]	1000~4000	20~700	0.2~2
動粘度 [10 ⁻⁷ m ² /s]	100	1~10	10

さらさらした高密度の気体で、わずかな条件差で対流を起こしやすい

動粘度



毛(細)管現象 (Capillary)



計算式

液面上昇高さ h (単位m)は、以下の公式で与えられる。

$$h = \frac{4\gamma \cos \theta}{d\rho g}$$

0.1mmのキャピラリーに、水は約30cm、毛管上昇する

γ = 表面張力 (N/m)
 θ = 接触角
 ρ = 液体の密度 (kg/m³)
 g = 重力加速度 (m/s²)
 d = 管の内径(直径) (m)

すべての物質が超臨界流体になりうる



では、どのような物質でも
超臨界状態にすれば良いのか？！



大気成分の 水, CO₂

水とCO₂は、熱力学的に最安定、廉価、豊富、
本質的に環境負荷が低い

超臨界CO₂の特徴

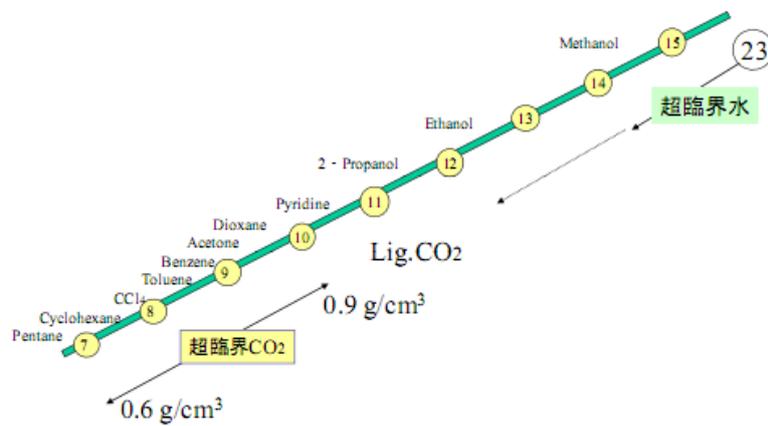
- ・超臨界条件に到達しやすい
- ・非極性有機溶媒と似た性質 (n-Hexaneに類似)
- ・基本的には気体(溶媒残留がない)
- ・高分子物質および金属は溶解しない。
- ・高分子(ポリマー)への親和性は高い(可塑化)

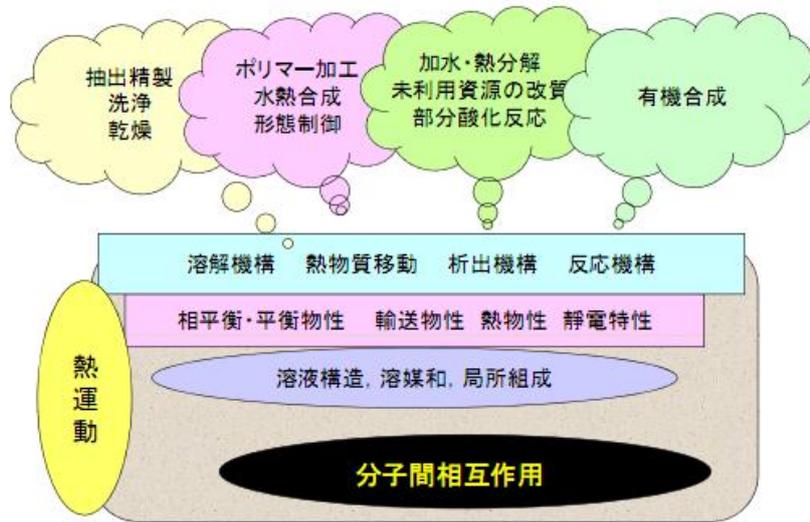
超臨界水の特徴

- ・高エネルギー場で利用できる。(Tc=373 C)
- ・超臨界域で利用できる唯一の有機溶媒とみなせる
- ・常温状圧では, 有機物質と相分離
- ・天然物中への親和性が高い
- ・それ自身が酸・塩基触媒の作用を発現

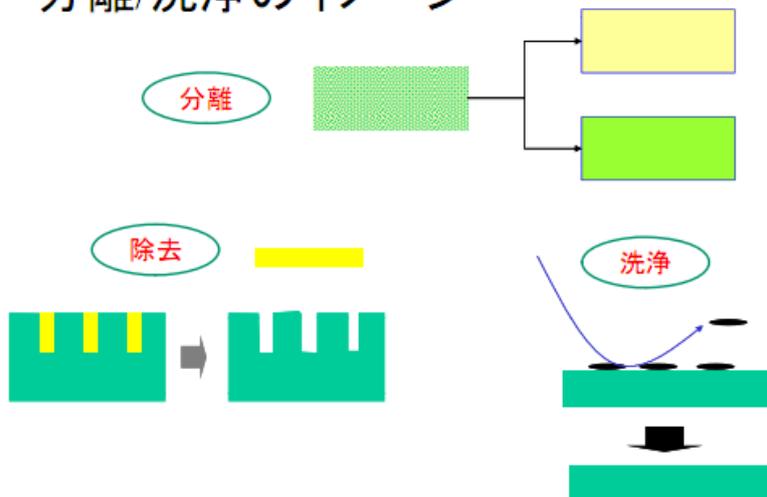
溶媒特性の制御性

<溶解度パラメータ; SP値 [(cal/cm³)^{1/2}]>





分離/洗淨のイメージ



分離・抽出・加工……

超臨界での分離の原理
溶解度の調整法

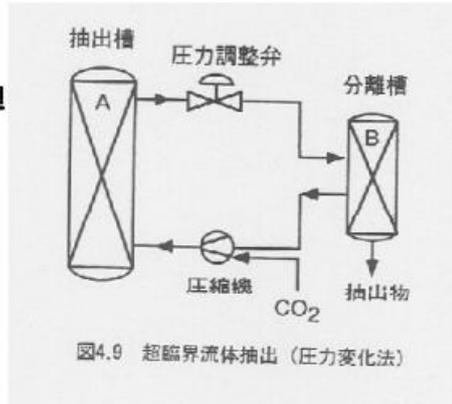


図4.9 超臨界流体抽出（圧力変化法）

分離

分離の基本は、溶解度の制御性にある。

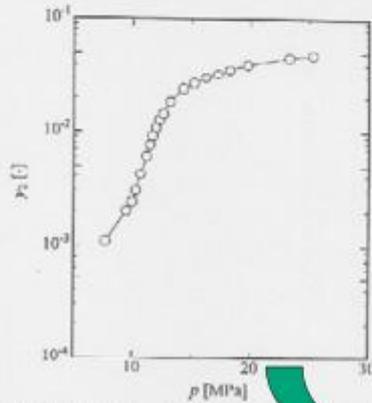


図4.3 超臨界CO₂に対するナフタレンの溶解度 (298.15K)

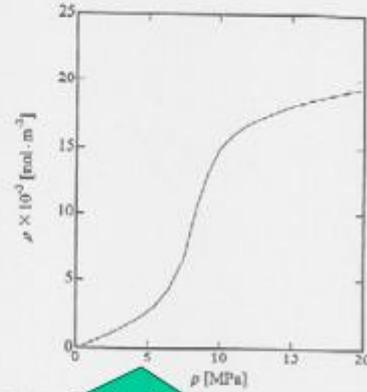
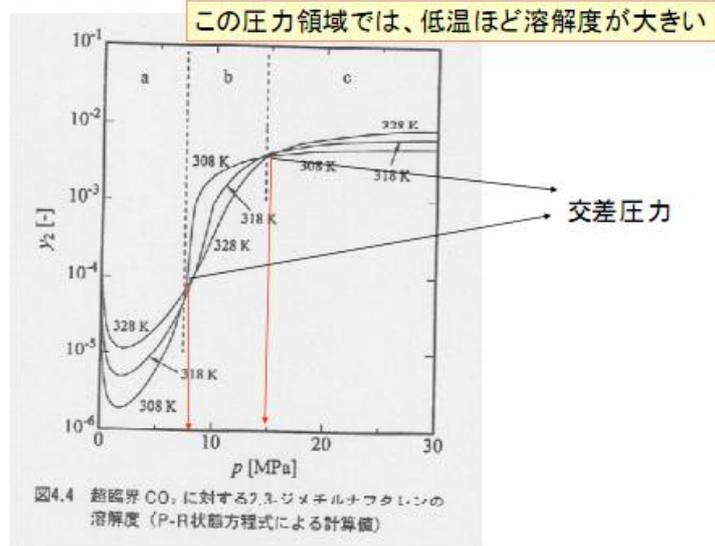


図4.2 超臨界CO₂の310.93Kにおける圧力-密度の関係

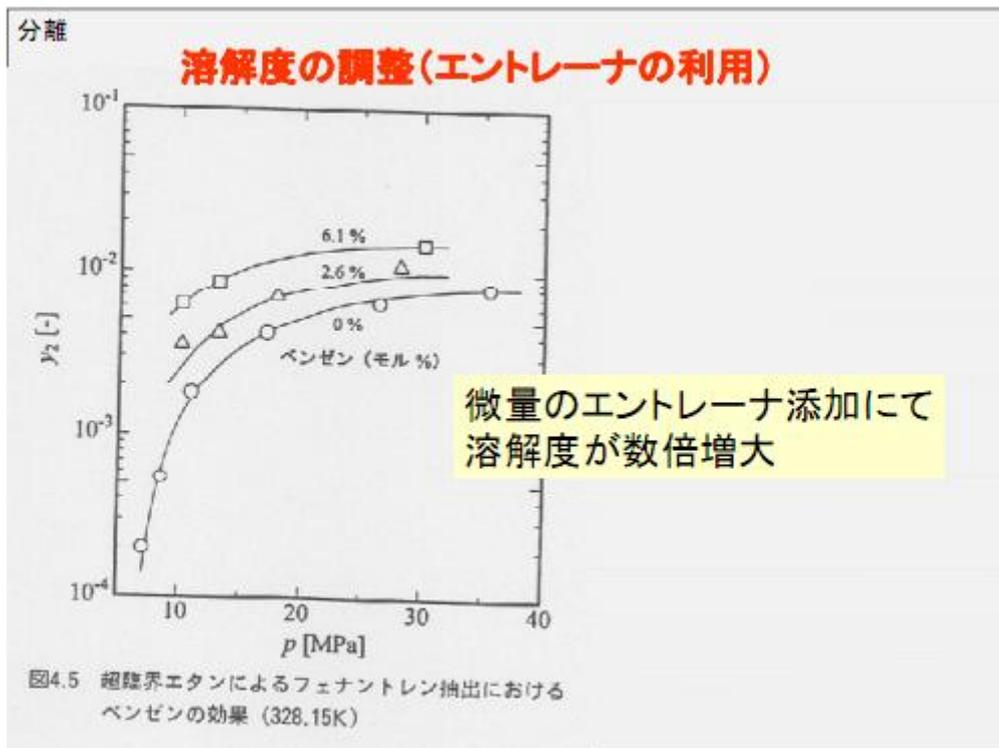
溶解度 ∝ 溶媒の密度

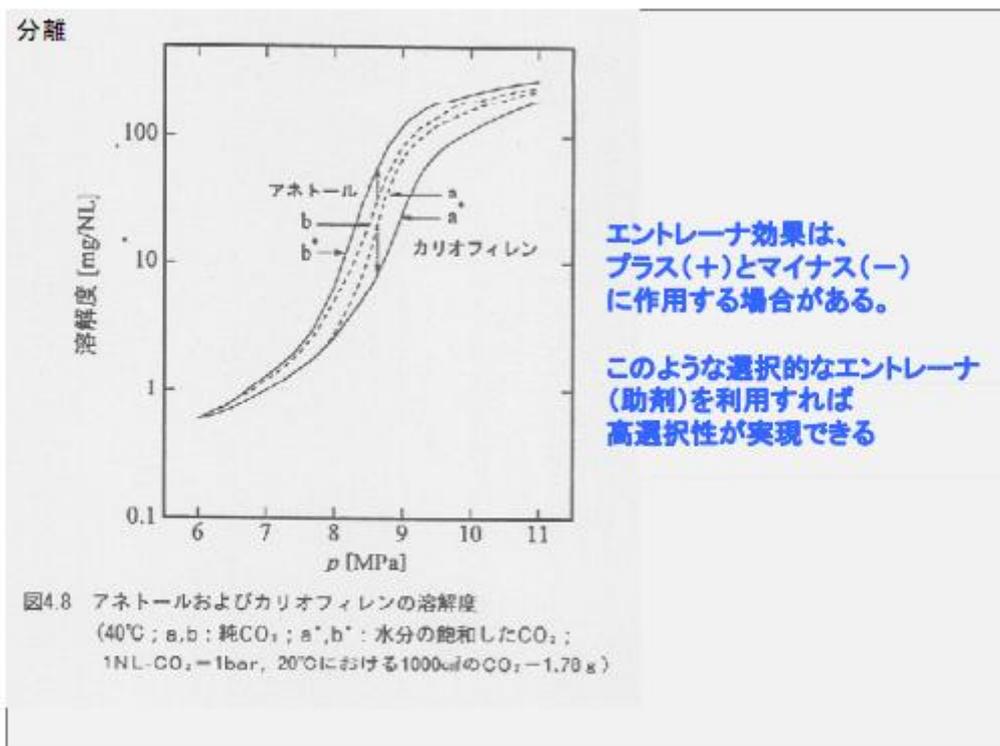
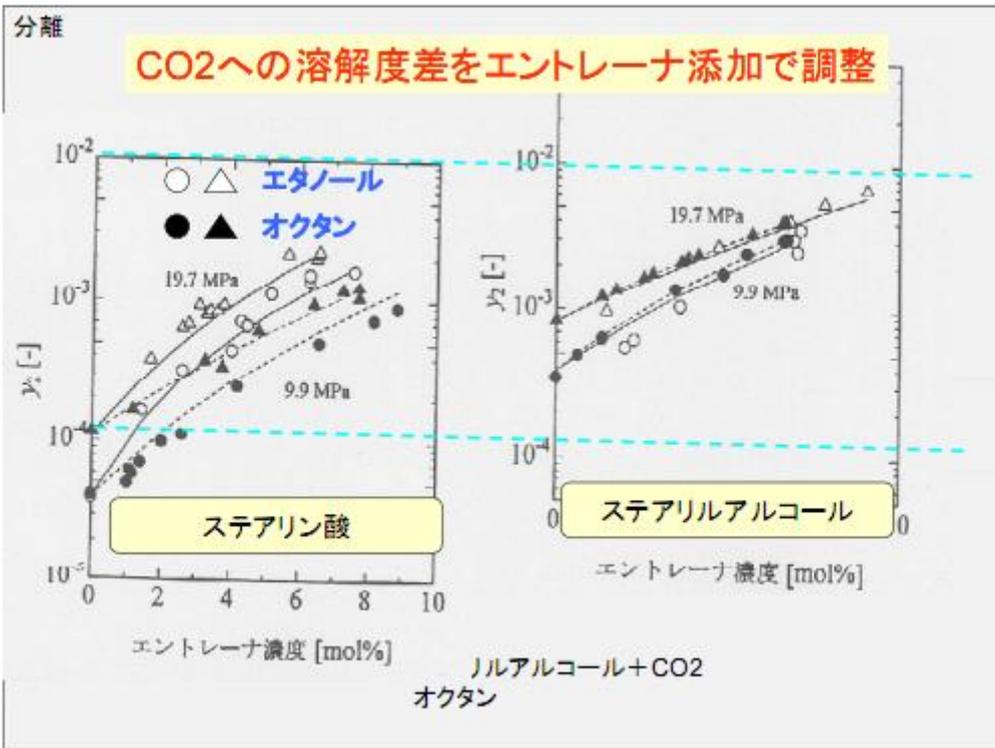
密度を制御すれば効率的分離が可能

分離



分離



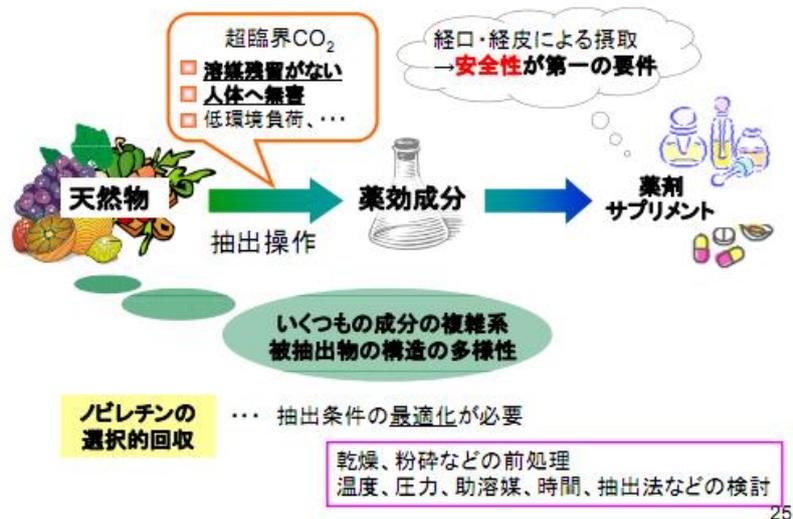


洗浄・分離技術の応用事例

1. 天然物からの食品等の分離

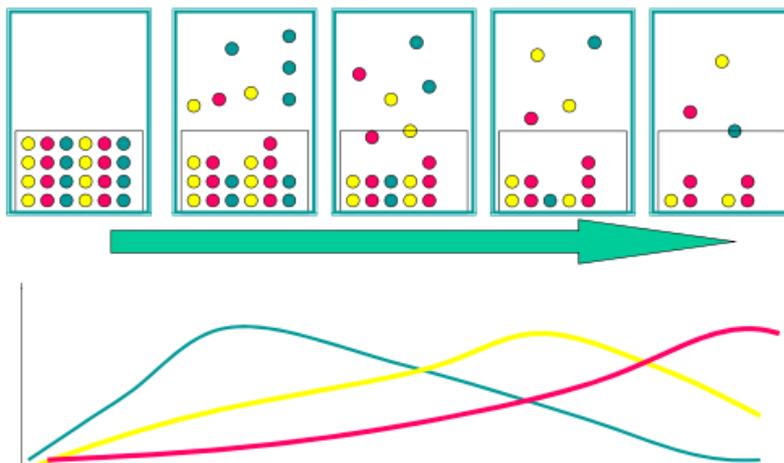
- ・ 経口物質(食品・食品添加物、サプリメント)などの分離に使用できる溶媒の限定
エタノール、水 それに + CO₂
- ・ 安全・安心な食材の提供
- ・ 乾燥工程不要 ・ 微細構造体への浸透性
- ・ 低界面張力による浸透性 ・ 溶解力の調整能

緒言 ～研究背景～



超臨界抽出による分画のイメージ(可能性)

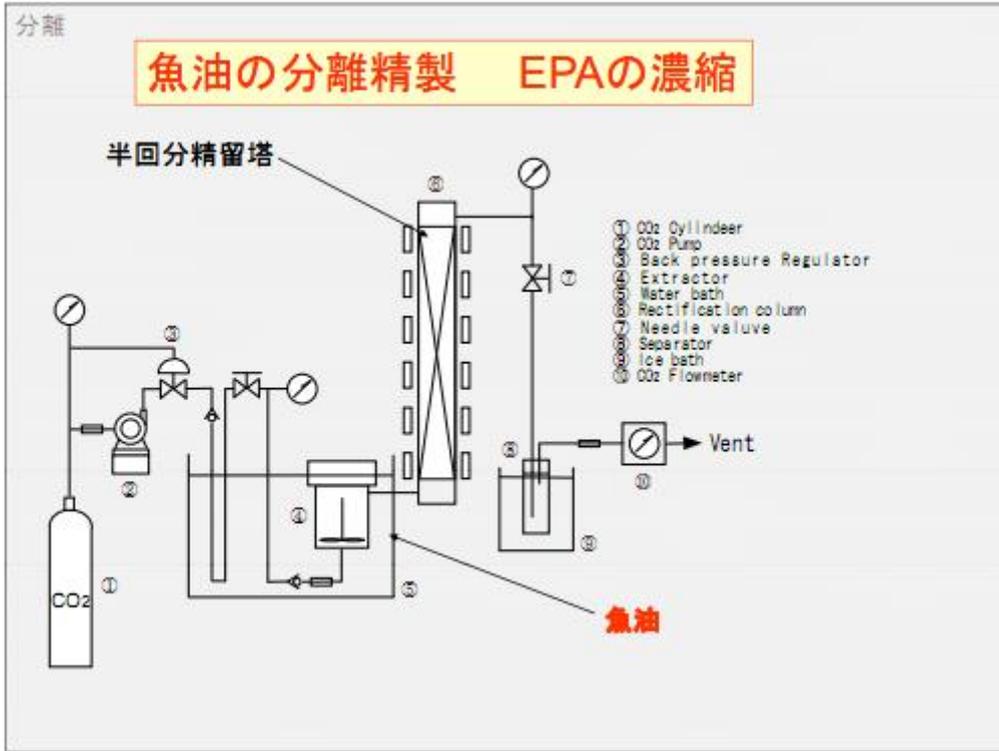
分配比 = 選択性 赤=1/8 黄色=1/4 緑=1/2



- **魚油(天然油脂)の分離精製**

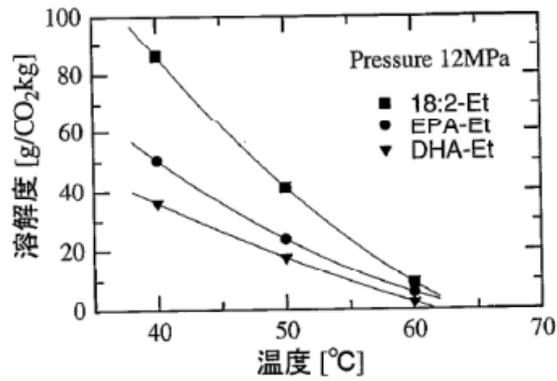
- 植物油、動物油に共通課題

魚油の分離精製 EPAの濃縮



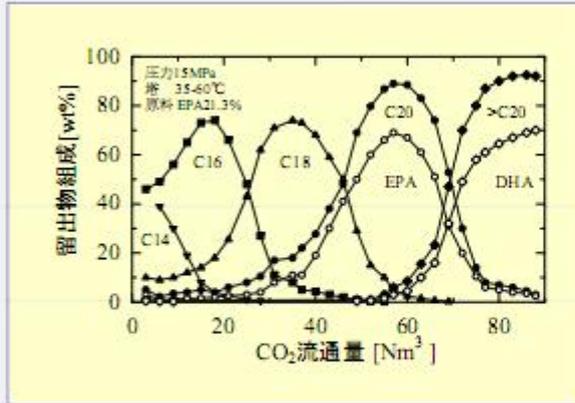
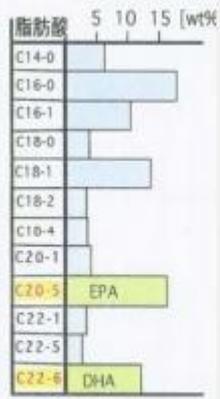
脂肪酸エステルの溶解度

(R.Bharath et.al. Fluid Phase Equibria, 50, 315-327(1989))

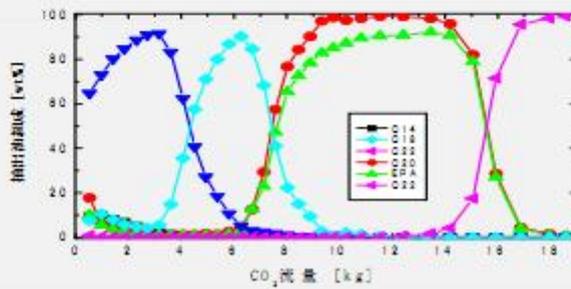
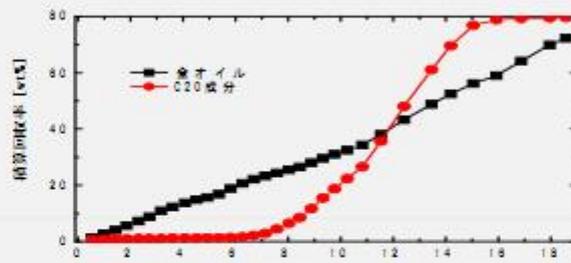


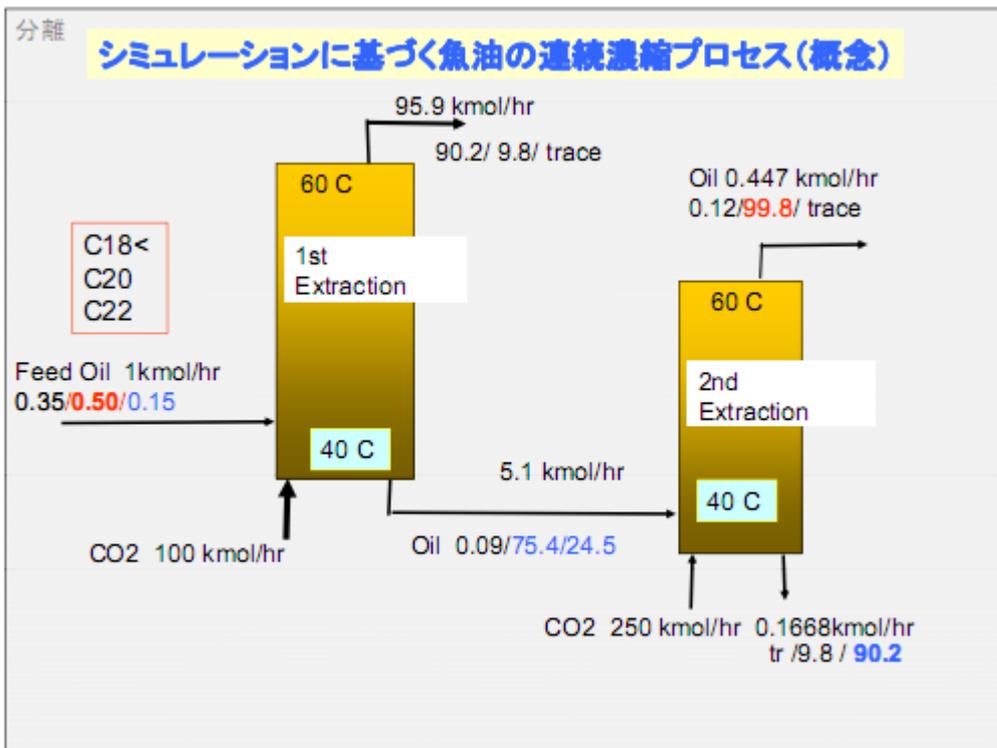
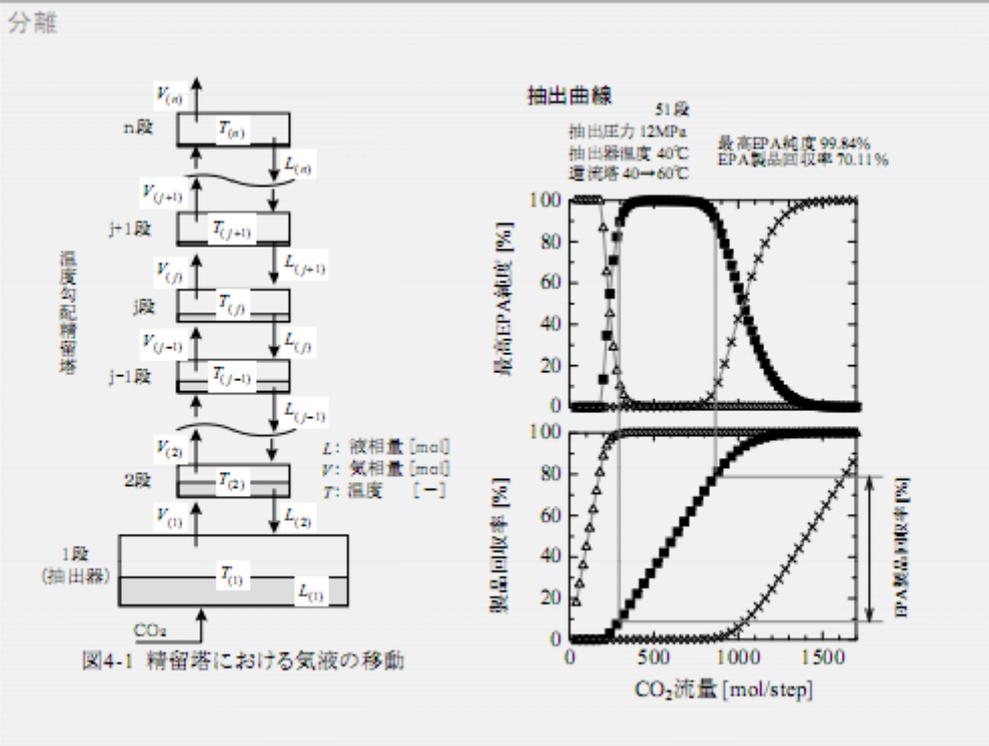
溶解度の温度依存性を利用

分離



原料仕込み量 27.5g (0.085mol) 温度勾配 35℃ - 80℃
 原料組成 C<20: C20: C>20 抽出器温度 35℃
 [wt%] 32.4 : 46.7 : 20.9 抽出装置 A
 CO₂流量 6.7mol/hr 充填剤 Dixon Packing





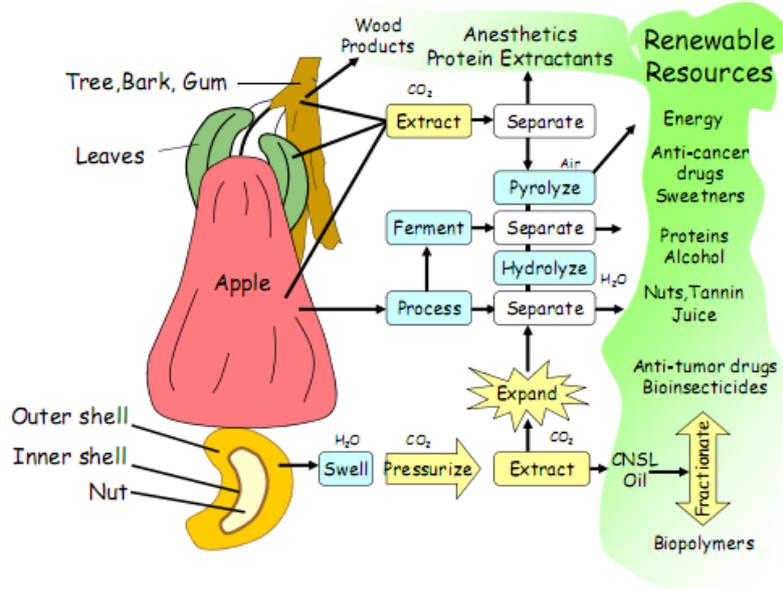
カシューナッツ殻エキスの抽出



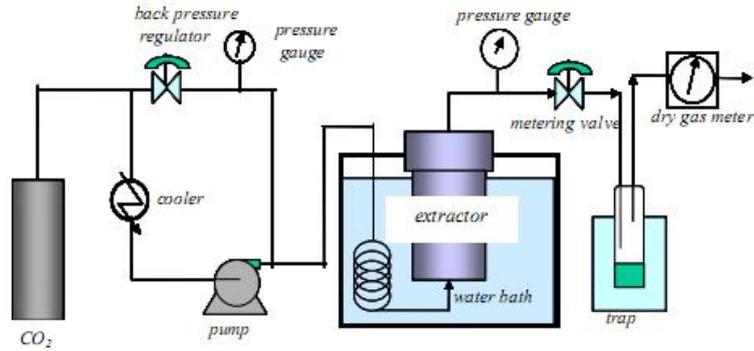
	Current Levels 1998 (1000 tons)
Cashew Nut Tree	
Cashew Nut-in-Shell	
cashew kernels	900
testa	18
tannin	5
Shells	2,100
CNSL	1,050
Anacardic Acid	945
Cardol	105
Apples	3,600

Crudely processed. Used in resins, brake fluids, paints

African Cashew. Source: Beltrani, 1996

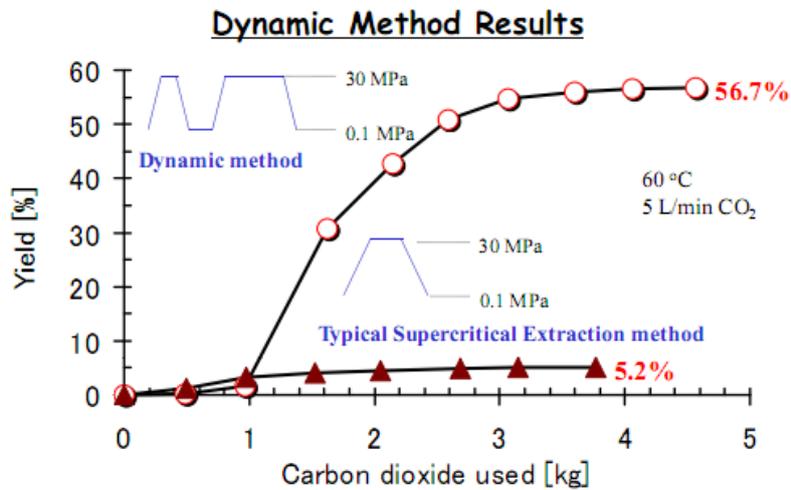


Supercritical Extraction Apparatus



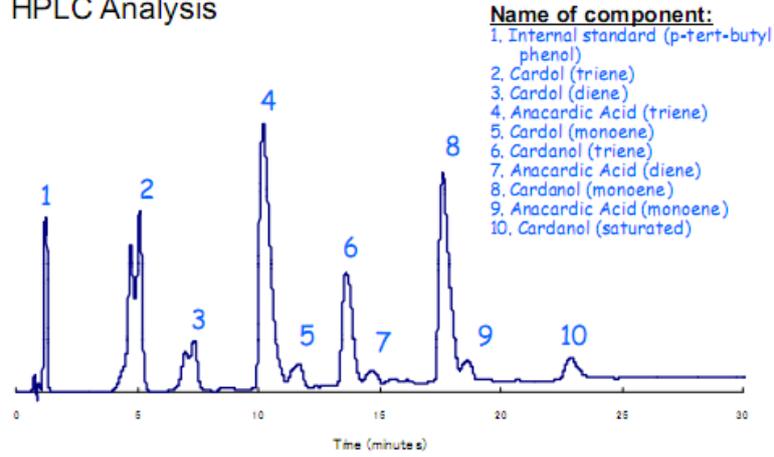
Conditions:
 Pressure up to 30 MPa
 Temperature from 40 to 60 °C
 CO₂ flow rate at 5 L/min at STP
 Vessel volume of 0.5 L

Loadings:
 approximately 30 g shells
 with the kernel removed
Analyses:
 Gravimetric, LC-MS

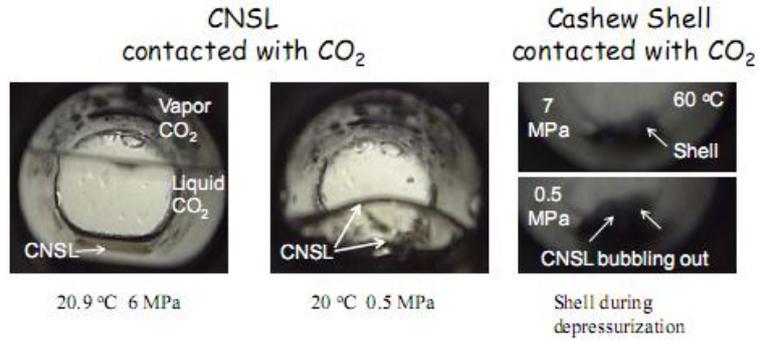


➡ **Dynamic conditions provides High yields**

HPLC Analysis

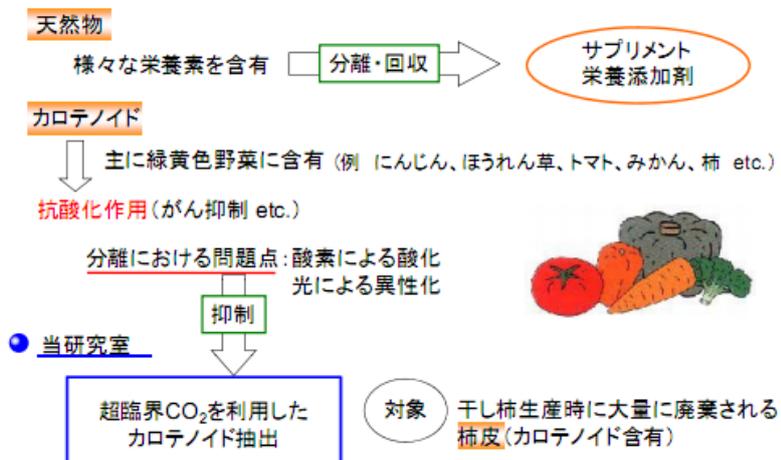


Visual Observations

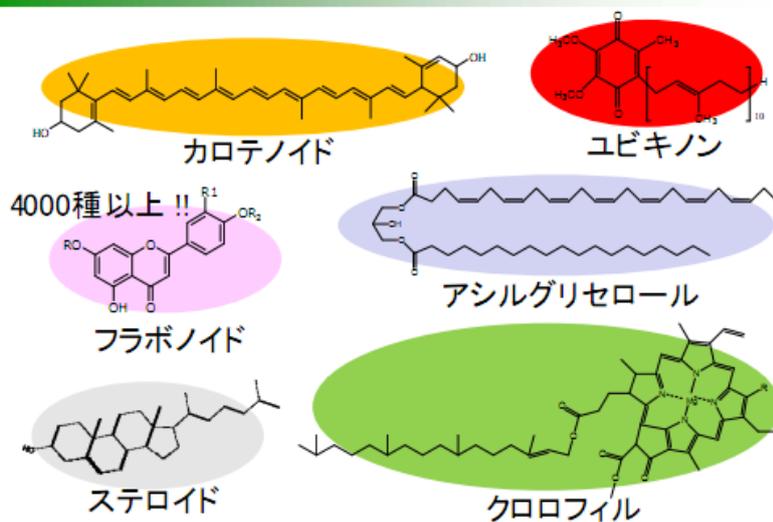


- ➔
- * Considerable swelling of the oil occurred during depressurization
 - * The oil bubbled out of the shell abruptly during depressurization

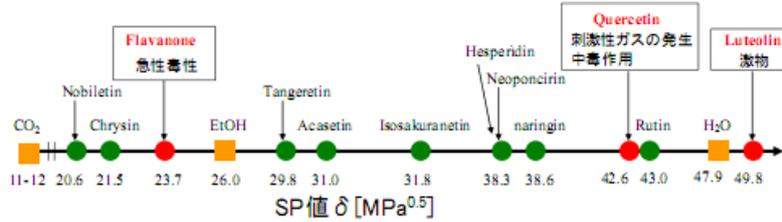
柑橘系からのサプリメント成分の分離



天然物各化合物群の総称



フラボノイド代表成分の溶解度パラメーター (SP値 δ)



物質の溶解性の指標

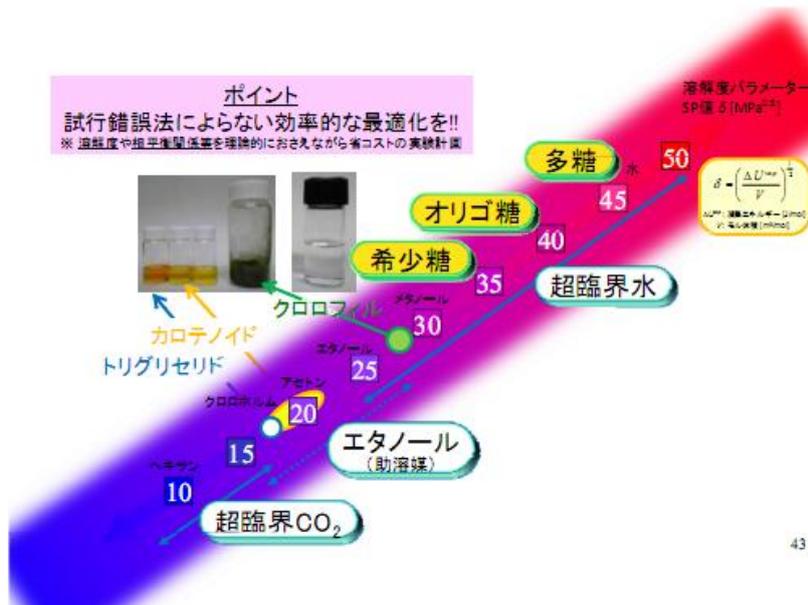
$$\delta = \left(\frac{\Delta U^{vap}}{V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

【記号】 ΔU^{vap} : 凝集エネルギー [J mol⁻¹]
V: モル体積 [m³/mol]

フラボノイド → 抗酸化物質
中には**毒性物質**も...

高付加価値成分との
高選択分離

分離予測法の構築



■ 抽出装置

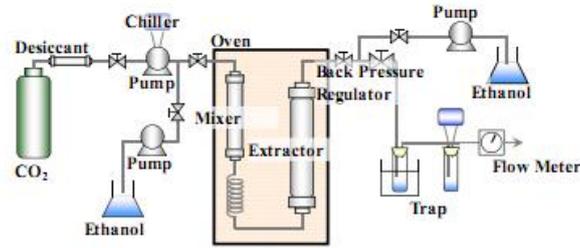


図 抽出装置概略

- ・ 試料: 摘果みかん果皮 ・ セル容積: 10 ml、仕込量: 5 g
- ・ CO₂ (99.99 %) ・ EtOH濃度: 0~100 mol%
- ・ 流量: 0.016 mol/min ・ 抽出時間: 180 min ・ 定量: HPLC
- ・ ポンプ前に脱水カラムを設置: 微量水分を吸着

$$\text{抽出率 [\%]} = \frac{\text{抽出成分重量} [\mu\text{g}]}{\text{果皮成分含有率} [\mu\text{g/g}] \times \text{仕込果皮重量} [\text{g}]} \times 100$$

超臨界CO₂抽出 ~抽出結果~

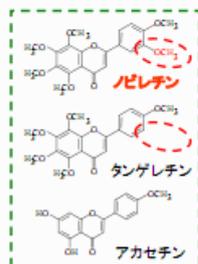


図 抽出物中のフラボノイド主成分

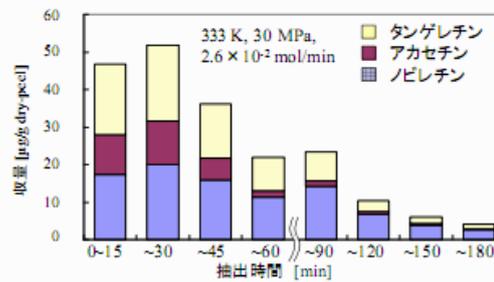


図 CO₂単独 (エタノール0 mol%)

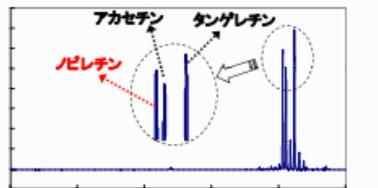
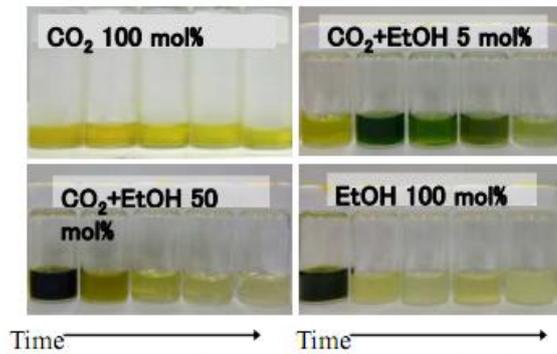


図 フラボノイドのHPLCクロマトグラム例 100 min

- ▶ 時間経過とともに収量は低下
- ▶ 抽出物中のノビレチン割合は相対

抽出条件による抽出物変化

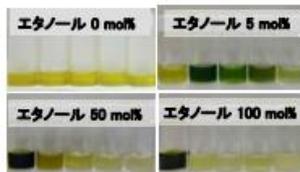
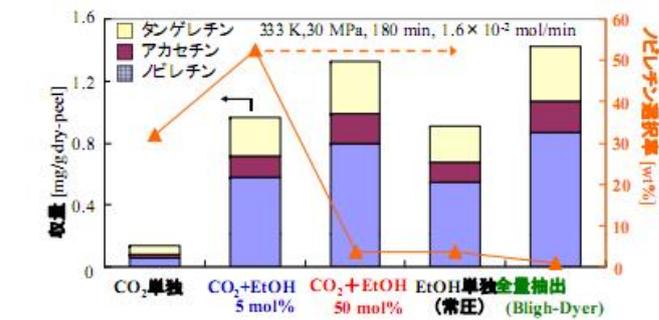


抽出条件により抽出物組成も変化

各抽出条件における成分の収量・ノビレチン選択性は？

56

抽出条件による収量・組成変化

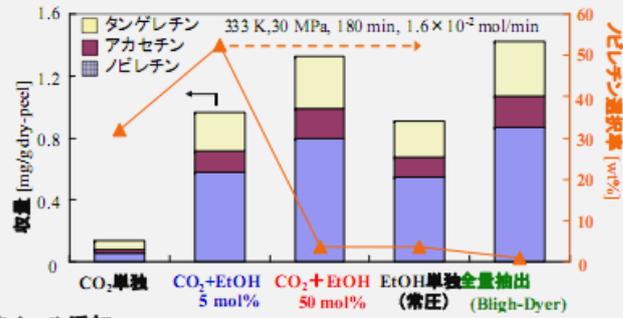


ノビレチン選択率 [wt%]

$$\frac{\text{ノビレチン収量 [wt]}}{\text{カロテノイド+フラボノイド+クロロフィル}} \times 100$$

57

抽出条件による収量・組成変化



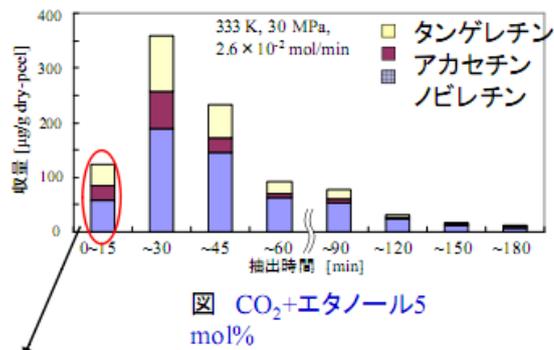
エタノール添加

・CO₂単独に比べ、各成分とも収量増加
 ・タンゲレチン選択率はCO₂単独、CO₂+EtOH 5 mol%で高い値を示す
 ・溶解極性増加によりヘスペリジン・クロロフィルなど夾雑成分の抽出が促進

エタノール低濃度での抽出が効果的であることを示唆

58

超臨界CO₂+低濃度エタノールによる抽出



初期が低収量→抽出開始から系内が定常に至るまで数分かか

59

超臨界CO₂+低濃度エタノールによる抽出

各フラクションの収量

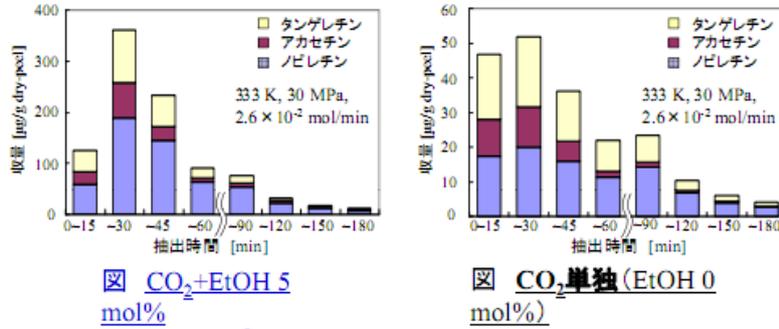


図 $\text{CO}_2 + \text{EtOH } 5 \text{ mol}\%$

図 CO_2 単独 (EtOH 0 mol%)

$\text{CO}_2 + \text{EtOH } 5 \text{ mol}\%$

- CO_2 単独に比べ、各フラクションで収量増加
- ノビレチンの割合も (乾燥重量比(ノビレチン/乾燥重量)でも) 最大約10 wt%, 平均約5 wt% 高い

60

超臨界CO₂+低濃度エタノールによる抽出

各成分の回収率 (全量抽出時の収量 = 100%)

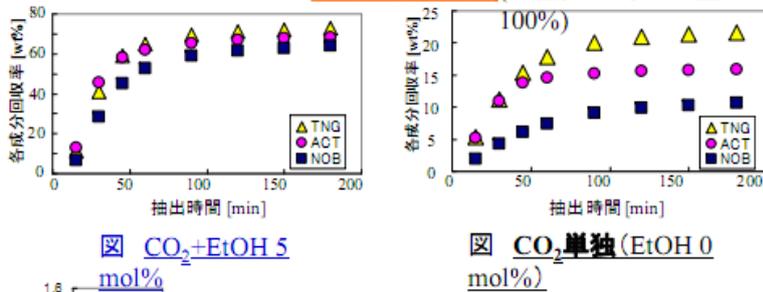


図 $\text{CO}_2 + \text{EtOH } 5 \text{ mol}\%$

図 CO_2 単独 (EtOH 0 mol%)

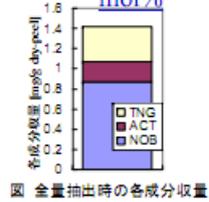


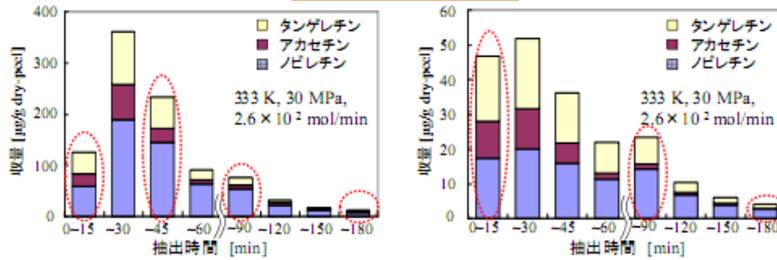
図 全量抽出時の各成分収量

- CO_2 単独に比べ、各フラクションで収量増加
- ノビレチンの割合も (乾燥重量比(ノビレチン/乾燥重量)でも) 最大約10 wt%, 平均約5 wt% 高い
- EtOHの添加 → 収量の増加とともに選択性も変化

61

超臨界CO₂+低濃度エタノールによる抽出

各フラクションの収量



☒ CO₂+EtOH 5 mol%

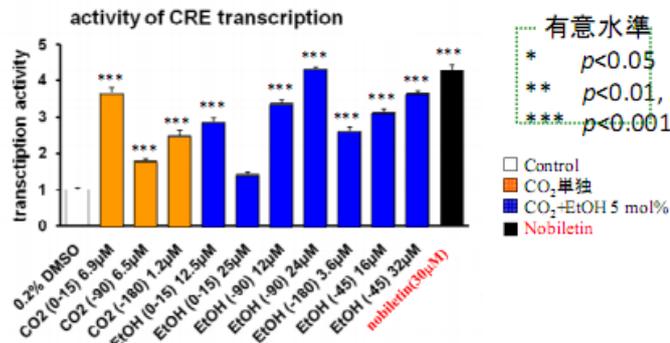
☒ CO₂単独 (EtOH 0 mol%)

- CO₂単独に比べ、各フラクションで収量増加
- ノビレチンの割合も (乾燥重量比(ノビレチン/乾燥重量)でも) 高い (最大約10 wt%, 平均約5 wt%)

CO₂単独、CO₂+EtOH 5 mol%それぞれの抽出サンプルで薬理:

62

抽出条件による薬理活性変化



CO₂単独、エタノール低濃度系いずれも高い活性が得られた

活性に影響を与えるのはノビレチンの濃度だけではない
夾雑成分中に正・負それぞれの相互作用を与える成分の存在

63

図 セルロース結晶構造

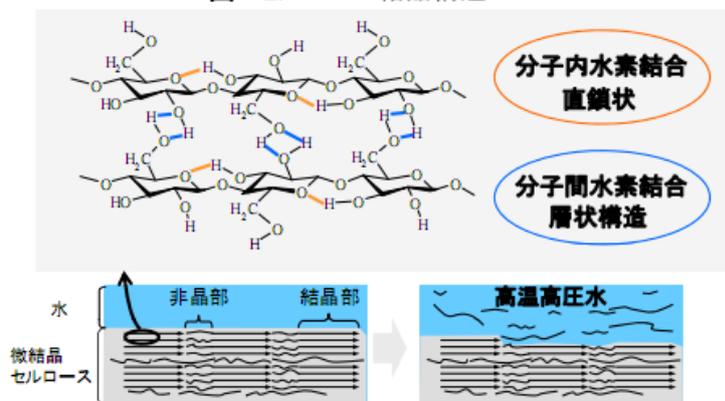
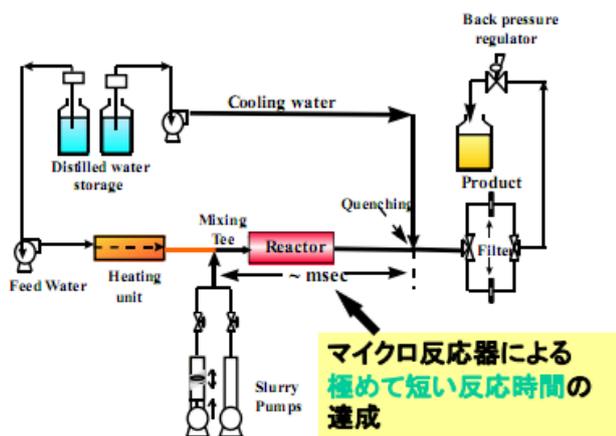


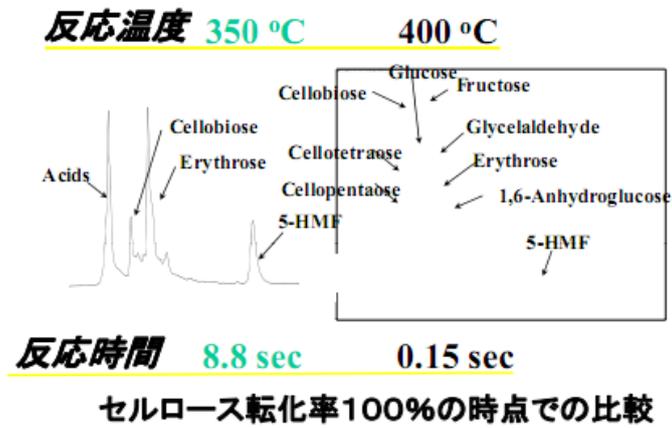
図 高温高圧水中におけるセルロース結晶分解反応の模式図

セルロース結晶の分解開始温度・圧力
数十MPa以上になる水密度領域 } 検討が必要

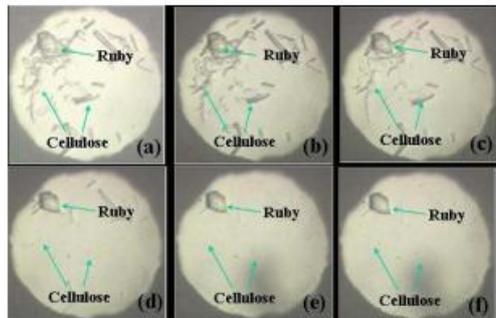
セルロースの連続加水分解装置



亜臨界及び超臨界水中のセルロース分解生成物



Diamond anvil cell study of cellulose in water at 60 MPa



Conditions : (a) 22 °C; (b) 280 °C (c) - (f) photos at approximately 1 second intervals with heating from 280 °C at a rate 10 °C/s.



実験



◆試料

微結晶セルロース(重合度230)
蒸留水

◆水密度・圧力決定法

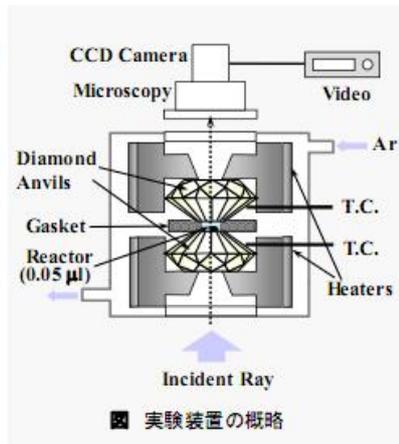
仕込み時に混入させた気泡の
消失・水のP- ρ -T関係より算出

◆観察条件

温度 : 室温 ~ 400°C
昇温速度 : 10 ~ 17°C/s
水密度 : 500 ~ 1000 kg/m³

◆分析方法

FT-IR測定



結果 セルロースの分解挙動①



$\rho = 660 \text{ kg/m}^3$

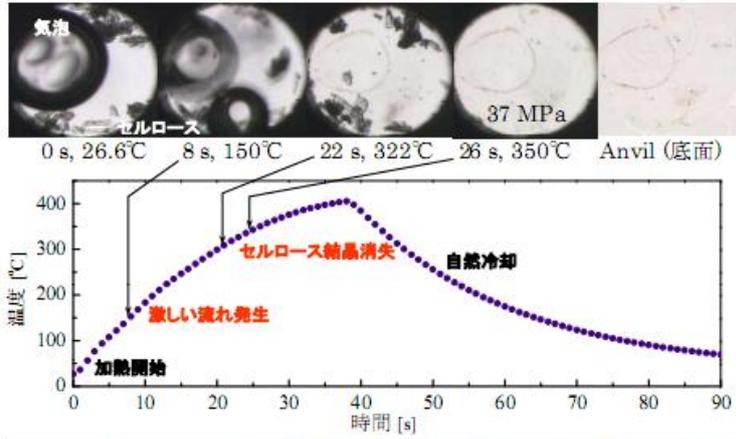


0 s, 室温
加熱開始
8 s, 150 °C
激しい流れ発生
22 s, 322 °C
気泡消失
26 s, 350 °C
(37 MPa)
結晶消失

$T_{\text{max}} = 405 \text{ °C}$
$P_{\text{max}} = 86 \text{ MPa}$



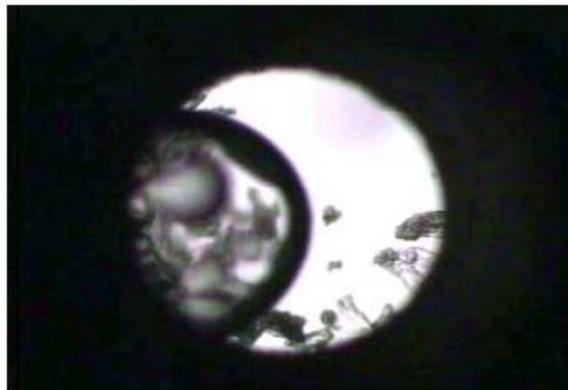
セルロースの分解挙動① $\rho = 660 \text{ kg/m}^3$



セルロースの分解挙動②



$\rho = 790 \text{ kg/m}^3$

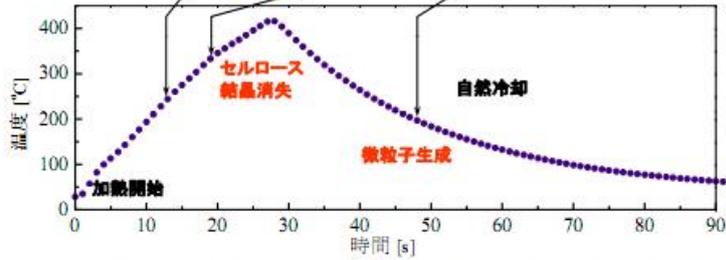
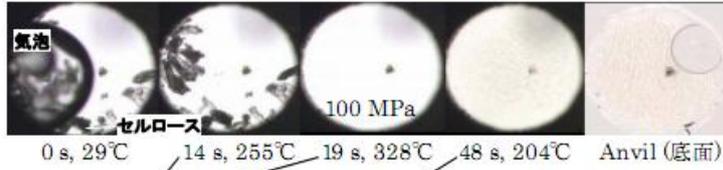


- 0 s, 室温
加熱開始
- 14 s, 255 °C
気泡消失
- 19 s, 328 °C
(100 MPa)
結晶消失

$T_{\text{max}} = 416 \text{ °C}$
 $P_{\text{max}} = 220 \text{ MPa}$



セルロースの分解挙動② $\rho = 790 \text{ kg/m}^3$



328°Cでセルロース結晶が消失し、水に不溶な固体物質が少量生成



セルロースの分解挙動③



$\rho = 980 \text{ kg/m}^3$

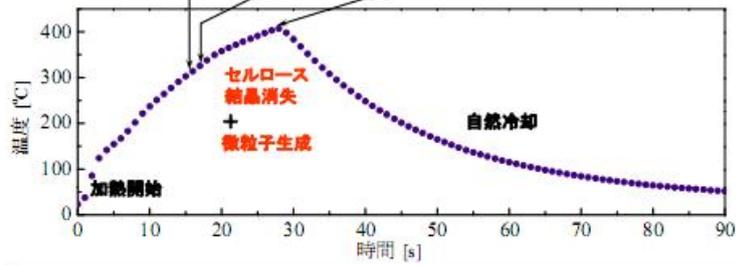
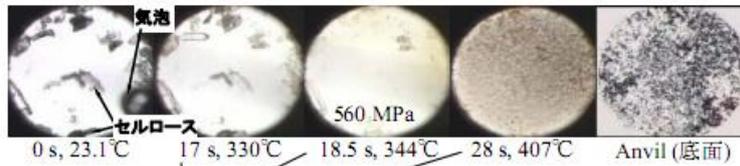


- 0 s, 室温
加熱開始
- 17 s, 330 °C
結晶が透明
- 18.5 s, 344 °C
(560 MPa)
結晶消失
- 18.7 s, 346 °C
微粒子生成開始

$T_{max} = 407 \text{ °C}$
 $P_{max} = 690 \text{ MPa}$



セルロースの分解挙動③ $\rho = 980 \text{ kg/m}^3$



344°Cでセルロース結晶が消失し、水に不溶な固体物質が生成



セルロース結晶消失過程



660 kg/m³ 790 kg/m³ 980 kg/m³



表面から
反応が進行

結晶が
崩壊しながら
反応が進行

表面から
反応が進行

おわりに

平成 23 年 3 月 11 日（金）14 時 46 分に東北太平洋沿岸を襲った M9.0 の大地震とそれに伴う大津波は、宮城県、岩手県、福島県の沿岸部に甚大な被害をもたらした。更にこの地震と津波は、とりわけ想像を絶した大津波は、福島県いわき市近郊の東京電力（株）福島原子力発電所にも甚大な影響を与え、今なお（4 月 20 日現在）修復はおろか原子炉の制御にすら成功していない。日本はこの災害の復興に国力を挙げて取り組まなければならない。

今回の原子力発電所の被災は、世界の注目を集め、低炭素社会の実現を目指し世界的な取り組みを始めたばかりの各国の政策に大きな見直しを迫るものとなる。

化石燃料たる石油・天然ガスに過大に依存する現下の世界のエネルギー政策は、早晚行き詰まりを見ることは明らかであり、化石燃料資源以外の他のエネルギー資源、すなわち、太陽光・風力・波力などの自然エネルギー、バイオマス、等々、「あらゆる」エネルギー資源を利用した持続可能な複合エネルギー政策を実現せねばならない。

このたびの日本の東日本大震災は我が国をはじめ、世界に警鐘を鳴らしたものとして受け止める必要があると思われる。

農林水産省の平成 23 年度農山漁村 6 次産業化対策事業に係る「緑と水の環境技術革命プロジェクト」事業から補助金助成を受け調査研究を進めた「テーマ」には、「耕作放棄地における微細藻培養技術の確立と事業化方策の検討に係る事業化可能性」というもので、われわれの考える副題は「藻から石油とオメガ 3」とした。

人間の食料と競合しない微細藻を大量に栽培し、バイオ燃料として、更に微細藻の脂肪酸に含有する EPA などのニュートラスステロイド成分の有効活用を目指すものである。

本調査を通じ、「テーマ」に沿った課題が明確となり、事業化の方策および可能性について方向性を示すことが出来た。